

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ

**ХАРЬКОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА имени А. Н. БЕКЕТОВА**

В. Е. Бекетов, Г. П. Евтухова, Ю. Л. Коваленко

КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

по дисциплине

ПРИКЛАДНАЯ АЭРОЭКОЛОГИЯ

МОДУЛЬ 3

**ОСНОВЫ ОБРАЗОВАНИЯ И ПРОЦЕССЫ ФОРМИРОВАНИЯ
ВЫБРОСОВ В АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ**

*(для студентов 3-го курса дневной и 4-го курса заочной форм обучения
направления подготовки 6.040106 – Экология, охрана окружающей среды
и сбалансированное природопользование)*

**Харьков
ХНУГХ им. А. Н. Бекетова
2015**

Бекетов В. Е. Конспект лекций по дисциплине «Прикладная аэроэкология». Модуль 3. Основы образования и процессы формирования выбросов в атмосферный воздух (для студентов 3 курса дневной и 4 курса заочной форм обучения направления 6.040106 – Экология, охрана окружающей среды и сбалансированное природопользование) / В. Е. Бекетов, Г. П. Евтухова, Ю. Л. Коваленко; Харьков. нац. ун-т гор. хоз-ва им. А. Н. Бекетова. – Харьков: ХНУГХ им. А. Н. Бекетова, 2015. – 76 с.

Авторы: канд. техн. наук, доц. В. Е. Бекетов
ст. преп. Г. П. Евтухова
канд. техн. наук, доц. Ю. Л. Коваленко

Рецензент: д. т. н., проф. Ф. В. Стольберг

Рекомендовано кафедрой инженерной экологии и экологической безопасности городов, протокол № 5 от 22. 12. 2012 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
ПРОЦЕССЫ ФОРМИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА ВОЗДУШНОГО БАССЕЙНА И ИХ МОДЕЛИРОВАНИЕ. ИСТОЧНИКИ ОБРАЗОВАНИЯ И ВЫБРОСОВ В АТМОСФЕРУ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ.....	6
1 ОСНОВЫ ОБРАЗОВАНИЯ ТВЕРДЫХ, ЖИДКИХ И ГАЗООБРАЗНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ АТМОСФЕРЫ	6
2 ИСТОЧНИКИ ОБРАЗОВАНИЯ И ВЫБРОСОВ В АТМОСФЕРУ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ.....	7
2.1 Энергетика	7
<i>2.1.1 Расчет выбросов загрязняющих веществ от энергетических установок....</i>	<i>8</i>
2.2 Автомобильный транспорт	23
<i>2.2.1 Расчет выбросов загрязняющих вещества от автомобильного транспорта</i>	<i>24</i>
2.3 Машиностроительные предприятия.....	30
<i>2.3.1 Сварка и тепловая резка металла</i>	<i>30</i>
<i>2.3.2 Литейные цеха</i>	<i>32</i>
<i>2.3.3 Механическая обработка металлов.....</i>	<i>38</i>
<i>2.3.4 Термические цеха</i>	<i>39</i>
<i>2.3.5 Лакопокраска</i>	<i>40</i>
<i>2.3.6 Гальваническая обработка</i>	<i>42</i>
2.4 Деревообработка	44
2.5 Черная металлургия	46
<i>2.5.1 Процесс агломерации (обогащения)</i>	<i>46</i>
<i>2.5.2 Производство кокса</i>	<i>47</i>
<i>2.5.3 Доменное производство.....</i>	<i>47</i>
<i>2.5.4 Производство стали</i>	<i>48</i>
<i>2.5.5 Производство проката.....</i>	<i>49</i>
2.6 Цветная металлургия.....	49

2.7 Строительная промышленность	50
2.7.1 Производство кирпича	50
2.7.2 Производства цемента	51
2.7.3 Производство извести	53
2.7.4 Производство стекла	54
2.7.5 Производство нерудных строительных материалов	56
2.7.6 Минераловатное производство	56
2.7.7 Производство бетона	57
2.7.8 Производство керамзита	59
2.7.9 Производство асфальтобетона	59
2.8 Добыча минерального сырья	60
2.8.1 Выбросы загрязняющих веществ предприятиями угольной промышленности	61
2.9 Переработка нефти и хранение нефтепродуктов	65
2.10 Химическая промышленность, производство минеральных удобрений	69
2.11 Производство бумаги	71
2.12 Сжигание, свалки бытовых отходов	72
2.13 Пищевая промышленность	72
2.14 Проведение сельскохозяйственных работ	73
2.15 Полиграфическое производство	73
2.16 Химическая чистка одежды	74
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	75

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Прикладная аэроэкология» входит в программу подготовки бакалавра по специальности «Экология и охрана окружающей среды».

В конспекте рассмотрены процессы образования твердых, жидких и газообразных загрязнений атмосферы, источники образования загрязняющих веществ основных отраслей промышленного производства, приведены основы расчета выбросов примесей в атмосферу. Детально представлены методики расчета выбросов загрязняющих веществ от предприятий энергетики и автотранспорта.

Дисциплина дает студенту знания, с помощью которых можно сделать качественную оценку и выполнить необходимые расчеты для количественной оценки выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух основными промышленными предприятиями.

ПРОЦЕССЫ ФОРМИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА ВОЗДУШНОГО БАССЕЙНА И ИХ МОДЕЛИРОВАНИЕ. ИСТОЧНИКИ ОБРАЗОВАНИЯ И ВЫБРОСОВ В АТМОСФЕРУ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ

1 ОСНОВЫ ОБРАЗОВАНИЯ ТВЕРДЫХ, ЖИДКИХ И ГАЗООБРАЗНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ АТМОСФЕРЫ

Пыль, содержащуюся в атмосфере можно классифицировать по времени и форме ее образования:

- 1) первичное пылеобразование – пыль, выбрасываемая в атмосферу в результате какого-либо естественного или антропогенного процесса;
- 2) вторичное пылеобразование – пыль, образующаяся в атмосфере из находящихся в ней жидких или газообразных веществ в результате химических или физических преобразований;
- 3) поверхностное пыление – переход пыли, сформировавшейся на поверхности земли в атмосферу

Антропогенные источники первичного пылеобразования возникают в результате следующих процессов:

- механическая обработка различных веществ (дробление, шлифование, резание);
- транспортировка зернистых материалов (погрузка, просеивание, перемешивание);
- тепловые процессы и процессы горения (сжигание, сушка, плавление);
- износ и разрушение веществ (тормозные колодки автомобиля, абразивный круг заточного станка);

Жидкие загрязнения образуются:

- при конденсации паров;
- при распылении или разливе жидкостей;
- в результате химических или фотохимических реакций.

Конденсация паров происходит в результате охлаждения их окружающим атмосферным воздухом. В зависимости от точки плавления сконденсированные пары могут переходить в твердые частицы.

Образование *газообразных загрязнений* характерно для таких химических реакций, как:

- Окисление;
- Восстановление;
- Замещение;
- Разложение.

А также для процессов:

- Электролиза;
- Выпаривания;
- Дистилляции.

Наибольшую часть газообразных выбросов составляют продукты окисления, образовавшиеся в процессе горения:

- При окислении углерода образуется CO и CO₂ ;
- При окислении серы – SO₂;
- При окислении азота – NO и NO₂;
- При неполном сгорании не происходит полного окисления органических веществ, и могут образовываться альдегиды или органические кислоты.

2 ИСТОЧНИКИ ОБРАЗОВАНИЯ И ВЫБРОСОВ В АТМОСФЕРУ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ

2.1 Энергетика

Энергетика – производство электроэнергии и тепла (энергии). Производство энергии осуществляется на:

- тепловых электростанциях;
- гидроэнергетических станциях;
- атомных энергетических станциях;
- солнечных, ветровых, геотермальных и станциях, использующих энергию приливов (альтернативные источники).

Основным источником загрязнения атмосферы являются тепловые электростанции.

Ожидаемое в ближайшее десятилетие истощение запасов нефти и газов ставит перед энергетиками задачу расширения доли использования твердого топлива, в особенности углей и сланцев низкого качества, запасов которых хватит на длительное время. Эти виды топлива имеют пониженную теплотворную способность, повышенную зольность и содержание серы. Поэтому в энергетике намечается тенденция увеличения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу.

При сжигании углей средняя запыленность газов составляет 10-50 г/м³.

А химический состав пыли (золы) сильно зависит от месторождения угля, толщины пласта, содержания в угле пустой породы.

Пыль состоит, как правило, из SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , K_2O , Na_2O . Дополнительно может содержать микропримеси соединений ванадия, ртути, свинца, мышьяка, радиоактивные и канцерогенные вещества.

Дисперсный состав пыли зависит от способа помола и марки угля. Размер частиц колеблется от 5 до 60 мкм.

Дымовые газы содержат SO_2 , образующийся в результате окисления серы, содержащейся в топливе.

Содержание серы в угле колеблется в пределах от 0,3 до 8%. Концентрация SO_2 в дымовых газах зависит от содержания серы в угле, коэффициента избытка воздуха в топке котла, определяется по материальному балансу.

Оксиды азота образуются в топке котла в результате взаимодействия при высокой температуре азота и кислорода, содержащихся в воздухе. Концентрация оксидов азота в дымовых газах зависит от максимальной температуры в топке.

Угарный газ CO в дымовых газах образуется в результате неполного сгорания топлива.

При сжигании мазута запыленность дымовых газов составляет 20-50 г/м³.

Дымовые газы содержат SO_2 , концентрация которого зависит от содержания серы в мазуте и может колебаться в пределах от 0,3 до 2,8%. Аналогично имеют место образование и выбросы NO_x и CO.

При сжигании природного газа выбросы золы и соединений серы незначительны. Также имеют место образование и выбросы NO_x и CO.

Вредные примеси продуктов сгорания по происхождению классифицируют на 3 группы:

1. Примеси, качество которых зависит от состава топлива – SO_2 , V_2O_5 , зола.
2. Примеси, образование которых зависит от технологии сжигания NO_x , CO, H_2S , бенз(а)пирен.
3. Другие источники, не связанные со сжиганием:
 - пыление золоотвалов,
 - испарение углеводородов при хранении и переливе мазута.

2.1.1 Расчет выбросов загрязняющих веществ от энергетических установок

Определение валовых выбросов загрязняющих веществ (инвентаризация) может проводиться расчетным методом через показатели эмиссии или путем постоянных измерений. Приоритет имеет определение валовых выбросов путем постоянных измерений с использованием приборов непрерывного мониторинга содержания вещества в дымовых газах.

При отсутствии такой возможности валовые выбросы определяются на основании расчета. Расчетные методы определения выбросов загрязняющего вещества базируются на использовании *показателя эмиссии*. *Показатель эмиссии* характеризует массовое количество загрязняющего вещества, которое выбрасывается энергетической установкой в атмосферу, отнесенную к единице энергии, выделяющейся при сгорании топлива.

Во время сжигания органического топлива в энергетических установках расчету подлежат выбросы в атмосферный воздух следующих загрязняющих веществ: *вещества в виде суспендированных твердых частиц; окислы серы; окислы азота; окисел углерода; тяжелые металлы и их соединения*.

Валовые выбросы загрязняющего вещества, которое поступает в атмосферу с дымовыми газами, определяется как сумма валовых выбросов этого вещества от всех видов топлива, которые были использованы:

Обобщенный показатель эмиссии загрязняющего вещества является средней удельной величиной выбросов для определенной категории энергетических установок, определенной технологии сжигания топлива, определенного вида топлива с учетом мероприятий по снижению выбросов загрязняющего вещества. Он не учитывает особенности химического состава топлива.

Специфический показатель эмиссии является удельной величиной выбросов, которая определяется для конкретной энергетической установки с учетом индивидуальных характеристик топлива, конкретных характеристик процесса сжигания и мероприятий по снижению выбросов загрязняющего вещества.

При наличии обоих показателей эмиссии загрязняющего вещества необходимо использовать *специфический*.

Валовый выброс j -го загрязняющего вещества E_j , т, что поступает в атмосферу с дымовыми газами от энергетической установки, определяется как сумма валовых выбросов этого вещества во время сжигания разных видов топлива, в том числе во время их одновременного общего сжигания:

$$E_j = \sum_i E_{ji} = 10^{-6} \sum_i k_{ji} B_i (Q_i^r)_i, \quad \text{т}$$

где E_{ji} – валовой выброс j -й загрязняющего вещества во время сжигания i -го топлива, т;

k_{ji} – показатель эмиссии j -го загрязняющего вещества для i -го топлива, г/ГДж;

B_i – затрата i -го топлива, т;

$(Q_i^r)_i$ – низшая рабочая теплота сгорания i -го топлива, МДж/кг.

2.1.1.1 Расчет показателя эмиссии твердых частиц

Показатель эмиссии вещества в виде суспендированных твердых частиц (далее – твердых частиц) определяется как специфический и рассчитывается по формулам:

$$k_{mv} = \frac{10^6}{Q_i^r} a_{вин} \frac{A^r}{100 - \Gamma_{вин}} (1 - \eta_{zy}) + k_{mvS}$$

или

$$k_{mv} = \frac{10^6}{Q_i^r} (a_{вих} \frac{A^r}{100} + \frac{q_4}{100} \cdot \frac{Q_i^r}{Q_c}) (1 - \eta_{zy}) + k_{mvS},$$

где k_{mv} – показатель эмиссии твердых частиц, г/ГДж;

Q_i^r – низшая рабочая теплота сгорания топлива, МДж/кг;

A^r – массовое содержание золы в топливе на рабочую массу %;

$a_{вих}$ – доля золы, которая выходит из котла в виде летучей золы;

Q_c – теплота сгорания углерода до CO_2 , которая равняется 32,68 МДж/кг;

q_4 – потери тепла, связанные с механическим недожиганием топлива %;

η_{zy} – эффективность очистки дымовых газов от твердых частиц;

$\Gamma_{вин}$ – массовое содержание горючих веществ в выбросах твердых частиц %;

k_{mvS} – показатель эмиссии твердых продуктов взаимодействия сорбента и окислов серы и твердых частиц сорбента, г/ГДж.

Низшую рабочую теплоту сгорания топлива Q_i^r и массовое содержание золы в топливе A^r определяют по характеристикам сжигаемого топлива (табл. 2.1).

Доля золы, которая выходит из котла в виде летучей золы $a_{вих}$, зависит от технологии сжигания топлива и определяется либо экспериментально, либо по паспортным данным установки. При отсутствии этих данных $a_{вих}$ принимают из таблицы 2.2.

Таблица 2.1 – Характеристики топлив

Марка угля	Характеристики топлива			
	Влажность	Зольность	Содержание серы	Низшая теплота сгорания, МДж/кг
Антрацитовый штыб АШ	8,5	30,0	1,9	16,39
Тощие угли ТР	6,0	25,0	2,7	24,07
Донецкий газовый ГР	10,0	28,0	3,5	20,47
Донецкий длиннопламенный ДР	13,0	28,0	3,5	18,50
Львовско-волынский ГР	10,0	23,0	3,4	21,4
Александровский бурый Б1Р	56,7	34,2	4,6	5,0
Топливо - мазут				
Мазут малосернистый	-	0,1	0,5	40,30
Мазут сернистый	-	0,1	1,9	39,85
Мазут высокосернистый	-	0,1	4,1	38,89

Таблица 2.2 – Доля летучей золы $a_{вих}$ и потери тепла от механической неполноты сгорания q_4 при различных технологиях сжигания

Технология сжигания	$a_{вих}, \%$		$q_4, \%$		
	Уголь	Мазут	Каменные угли	Антрациты	Мазут
С твердым (сухим) шлакоудалением	0,95	1	1,5	1	0
Открытая топка с жидким шлакоудалением	0,80	1	0,5	0,5	0
Двухкамерная топка с вертикальным предтопком	0,30	1	0,5	0,2	0
Двухкамерная топка горизонтальная циклонная	0,15	1	1	0,2	0
Топка с циркулирующим кипящим слоем	0,50	-			
Топка с неподвижным слоем	0,15	-			

Эффективность очистки дымовых газов от твердых частиц $\eta_{з\gamma}$ определяется либо экспериментально, либо по паспортным данным установки.

При использовании сорбента для связывания оксидов серы в топке котла (например, по технологии сжигания топлива в кипящем слое или при применении технологий сухого или полусухого связывания серы) образуются твердые частицы сульфата и сульфита и неиспользованного сорбента. Показатель эмиссии твердых частиц неиспользованного в энергетической установке сорбента и образованных сульфатов и сульфитов $k_{m\delta S}$, г/ГДж рассчитывают по формуле:

$$k_{m\delta S} = \frac{10^6}{Q_i^r} \cdot \frac{S^r}{100} \left[\eta_1 \frac{\mu_{prod}}{\mu_S} + (m - \eta_1) \frac{\mu_{сorb}}{\mu_S} \right] a_{вих} (1 - \eta_{зy}) ,$$

где Q_i^r – низшая рабочая теплота сгорания топлива, МДж/кг;

S^r – содержание серы в топливе на рабочую массу, %;

$a_{вих}$ – доля золы, которая выходит из котла в виде летучей золы;

μ_{prod} – молекулярная масса твердого продукта взаимодействия сорбента и оксидов серы, кг/кмоль;

$\mu_{сorb}$ – молекулярная масса сорбента, кг/моль;

μ_S – молекулярная масса серы, равная 32, кг/моль;

m – мольное соотношение активного химического элемента сорбента и серы (табл. 3);

η_1 – эффективность связывания серы сорбентом в топке или при использовании методов десульфурации дымовых газов (табл. 2.3, 2.4):

$\eta_{зy}$ – эффективность очистки газов от твердых частиц.

Таблица 2.3 – Эффективность связывания оксидов серы золой или сорбентом в топке

Технология сжигания	η_1	Примечание
Факельное сжигание угля в котлах с жидким шлакоудалением	0,05	Связывание золой топлива
Факельное сжигание угля в котлах с твердым шлакоудалением	0,1	То же
Факельное сжигание мазута в котлах	0,02`	То же
Сжигание в кипящем слое, сухое (полусухое) связывание серы CaO	0,95	Связывание сорбентом в котле при мольном соотношении Ca/S m=2,5

Таблица 2.4 – Эффективность и коэффициент работы сероочистной установки

Технология десульфурации дымовых газов	Параметры установки сероочистки	
	η_{11}	β
Мокрая очистка в скруббере с использованием известняка (извести) или доломита с получением гипса	0,95	0,99
Мокрая очистка - процесс Велмана–Лорда с использованием солей натрия	0,97	0,99
Мокрая очистка - процесс Вальтера с использованием аммиачной воды	0,88	0,99
Сухая очистка - адсорбция активированным углем	0,95	0,99

2.1.1.2 Расчет показателя эмиссии диоксида серы

Показатель эмиссии диоксида серы рассчитывают по формуле:

$$k_{SO_2} = \frac{10^6}{Q_i^r} \cdot \frac{2S^r}{100} (1 - \eta_1)(1 - \eta_{11}\beta),$$

где Q_i^r – низшая рабочая теплота сгорания топлива, МДж/кг (табл. 2.1);

S^r – содержание серы в топливе на рабочую массу, % (табл. 2.1);

η_1 – эффективность связывания серы золой или сорбентом (табл. 2.3);

η_{11} – эффективность очистки дымовых газов от окислов серы;

β – коэффициент работы сероочистной установки.

Коэффициент работы сероочистной установки β определяется как отношение времени работы сероочистной установки к времени работы энергетической установки. Коэффициент β определяется при анализе данных о работе очистительной и энергетической установок в целом. При отсутствии таких данных значения эффективности сероочистки дымовых газов η_{II} и коэффициента работы сероочистной установки β по различным технологиям десульфуризации принимаются согласно таблице 2.4 .

К установкам десульфуризации дымовых газов относятся и некоторые виды золоуловителей. Для электростатических фильтров и циклонов эффективность уловления окислов серы равняется нулю. Для мокрых золоулавливающих установок - мокрых скрубберов - величина η_{II} зависит от общей щелочности воды на орошение и от содержания серы в топливе S^r . Приведенное содержание серы S^l определяется как отношение массового содержания серы (на рабочую массу топлива) к низшей рабочей теплоте сгорания топлива ($S^l = S^r/Q_i^r$). Данные об эффективности улавливания окислов серы в мокрых скрубберах приведена в таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Эффективность улавливания оксидов серы во время золоулавливания в мокром скруббере

Приведенное содержание серы, %/(МДж/кг)	Щелочность орошающей воды, мг-экв/л		
	0	5	10
0,01	0,0250	0,1450	0,3000
0,02	0,0220	0,0850	0,1680
0,03	0,0195	0,0520	0,1010
0,04	0,0180	0,0390	0,0660
0,05	0,0175	0,0300	0,0520
0,06	0,0170	0,0260	0,0430
0,07	0,0165	0,0215	0,0350
0,08	0,0160	0,0200	0,0300
0,09	0,0155	0,0190	0,0275
0,10	0,0150	0,0180	0,0230
0,11	0,0145	0,0170	0,0205
0,12	0,0135	0,0160	0,0200
0,13	0,0130	0,0150	0,0185
0,18	0,0120	0,0120	0,0120

2.1.1.3 Расчет показателя эмиссии оксидов азота

При сжигании органического топлива образуются оксиды азота NO_x (оксид азота NO и диоксид азота NO_2), выбросы которых определяются в пересчете на NO_2 .

Показатель эмиссии окислов азота k_{NO_x} , г/ГДж, с учетом мероприятий по сокращению выбросов рассчитывается по формуле:

$$k_{\text{NO}_x} = k_{(\text{NO}_x)_0} f_n (1 - \eta_1)(1 - \eta_{11}\beta),$$

где $k_{(\text{NO}_x)_0}$ – показатель эмиссии окислов азота без учета мероприятий сокращения выбросов, г/ГДж;

f_n – степень уменьшения выбросов во время работы на низкой нагрузке;

η_1 – эффективность первичных (режимно-технологических) мероприятий сокращения выбросов;

η_{11} – эффективность вторичных мероприятий (азотоочистной установки);

β – коэффициент работы азотоочистной установки.

Для конкретной энергетической установки специфический показатель эмиссии окислов азота определяют на основе результатов испытаний энергетической установки.

Обобщенный показатель эмиссии окислов азота $k_{(\text{NO}_x)_0}$ во время сжигания органического топлива по разным технологиям без учета мероприятий по сокращению выбросов NO_x , определяются согласно таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Показатель эмиссии оксидов азота без учета первичных мероприятий, $k(\text{NO}_x)_0$

Технология сжигания	Твердое топливо	Мазут	Природный газ
1	2	3	4
Факельное сжигание: Тепловая мощность котла $\geq 300\text{МВт}$:		200	150
с жидким шлакоудалением при сжигании антрацита	420		
с жидким шлакоудалением при сжигании каменного угля	250		

с твердым шлакоудалением при сжигании каменного угля	230		
Факельное сжигание: Тепловая мощность котла <300МВт:		140	
с жидким шлакоудалением при сжигании антрацита	250		
с жидким шлакоудалением при сжигании каменного угля	180		
с твердым шлакоудалением при сжигании каменного угля	160		
с горизонтальной циклонной топкой для каменного угля	480		

При работе энергетической установки на низкой нагрузке уменьшается температура процесса горения топлива, благодаря чему сокращаются выбросы окислов азота. Степень уменьшения выбросов NO_x , при этом определяется по эмпирической формуле:

$$f_n = (Q_{\phi} / Q_n)^z$$

где f_n – степень уменьшения выбросов NO_x во время работы на низкой нагрузке;

Q_{ϕ} – фактическая тепловая мощность энергетической установки, МВт;

Q_n – номинальная тепловая мощность энергетической установки, МВт;

Z – эмпирический коэффициент, который зависит от вида энергетической установки, ее мощности, типа топлива и т. п.

Для паровых котлов тепловая мощность Q_n зависит от паропродуктивности D_o , параметров пара и других характеристик котла. Тепловую мощность Q_n (МВт) на основании данных о его паропродуктивности D_o рассчитывают по формуле:

$$Q_n = D_o / w,$$

где Q_n – тепловая мощность парового котла, МВт;

D_o – паропроизводительность парового котла, т/час;

w – отношение паропродуктивности к тепловой мощности котла, т/(час МВт).

Значения w принимается из таблицы 2.7.

Таблица 2.7 – Коэффициент w – отношение паропродуктивности котла D_o к его тепловой мощности Q

Оборудование	Значение w
Котел с давлением свежего пара $P_o > 13,8 \text{ МПа}$ (при $D_o \geq 500 \text{ т/час}$ с промежуточным перегревом)	1,35
Котел с давлением пара $9,8 \text{ МПа} \leq P_o \leq 13,8 \text{ МПа}$ (при $D_o < 500 \text{ т/час}$ без промежуточного перегрева)	1,45
Котел с давлением пара $1,4 \text{ МПа} < P_o < 9,8 \text{ МПа}$ (при $D_o = 6,5 \dots 75 \text{ т/час}$ для перегретого пара) без промежуточного перегрева	1,35
Котел с давлением пара $P_o \leq 1,4 \text{ МПа}$ (при $D_o \leq 20 \text{ т/час}$ для насыщенного пара) без промежуточного перегрева	1,5

Эмпирический коэффициент Z определяется во время испытаний энергетической установки. При их отсутствии значения Z берется из таблицы 2.8.

Таблица 2.8 - Значения эмпирического коэффициента z

Тепловая мощность (паропродуктивность) котельной установки	Твердое топливо	Природный газ, мазут
Паровой котел 140 МВт и выше (200 т/год и выше)	1,15	1,25
Паровой котел от 22 до 140 МВт (от 30 до 200 т/год)	1,15	1,25
Водогрейный котел	1,15	1,25

Первичные (режимно-технологические) мероприятия направлены на уменьшение образования окислов азота в топке или камере сгорания энергетической установки. К этим мероприятиям относятся: использование малотоксичных горелок, ступенчатая подача воздуха и топлива, рециркуляция дымовых газов и тому подобное. Ориентировочные значения эффективности первичных мероприятий η_1 уменьшения выбросов окислов азота приведены в таблице 2.9.

Таблица 2.9 – Эффективность первичных мероприятий по сокращению выбросов NOx

Тип первичных мероприятий	Эффективность мероприятия, η_I
Малотоксичные горелки	0,20
Ступенчатая подача воздуха	0,30
Подача третичного воздуха	0,20
Рециркуляция дымовых газов	0,10
Трехступенчатая подача воздуха и топлива	0,35
Малотоксичные горелки+ступенчатая подача воздуха	0,45
Малотоксичные горелки+подача третичного воздуха	0,40
Малотоксичные горелки+рециркуляция дымовых газов	0,30
Ступенчатая подача воздуха+подача третичного воздуха	0,45
Ступенчатая подача воздуха+рециркуляция дымовых газов	0,40
Малотоксичные горелки+ступенчатая подача воздуха+рециркуляция дымовых газов	0,50
Малотоксичные горелки+ступенчатая подача воздуха+подача третичного воздуха	0,60

При невозможности достичь с помощью первичных мероприятий необходимого снижения концентрации окислов азота в дымовых газах используют очистные установки. Значение эффективности η_{II} и коэффициента работы азотоочистной установки β (отношение времени работы азотоочистной установки к времени работы энергетической установки) определяют во время испытаний, а при их отсутствии – согласно таблице 2.10.

Таблица 2.10 – Эффективность и коэффициенты работ установки очистки газов от NOx

Технология очистки газов от NOx	Эффективность η_{II}	Коэффициент работы β
Селективное некаталитическое восстановление (СНКВ)	0,5	0,99
Селективное каталитическое восстановление (СКВ)	0,8	0,99
Активированный уголь	0,7	0,99
Процесс DESONOX-SNOX	0,95	0,99

2.1.1.4 Расчет показателя эмиссии оксида углерода

Образование оксида углерода CO является результатом неполного сгорания углерода органического топлива. С уменьшением мощности энергетической установки концентрация CO в дымовых газах растет.

Основным методом определения выбросов оксида углерода является измерение его концентрации. При отсутствии постоянных измерений концентрации CO его валовые выбросы определяют по формуле, приведенной в подразделе 2.1.1. с использованием усредненных показателей эмиссии CO в зависимости от вида топлива, мощности энергетической установки и технологии сжигания. Усредненные показатели эмиссии CO представлены в таблице 2.11.

Таблица 2.11 – Показатели эмиссии оксида углерода k_{CO}

Технология сжигания топлива	Вид топлива		
	Твердое топливо	Мазут	Природный газ
Факельное сжигание:		15	17
Котел с жидким шлакоудалением	11,4		
Котел с твердым шлакоудалением	11,4		
Сжигание в кипящем слое	9,7		
Сжигание в неподвижном слое	121		
Сжигание в камере сгорания ГТУ		15	15

2.1.1.5 Расчет показателя эмиссии тяжелых металлов

Выбросы тяжелых металлов и их соединений связаны с наличием в минеральной части топлива соединений тяжелых металлов. К тяжелым металлам, соединения которых наиболее вредны для окружающей среды, относятся: арсен (As), кадмий (Cd), хром (Cr), медь (Cu), ртуть (Hg), никель (Ni), свинец (Pb), селен (Se), цинк (Zn).

Во время сжигания мазута или тяжелого дизельного топлива к тяжелым металлам этой группы отнесен также ванадий (V) и его соединения. В частицах летучей золы большинство этих элементов встречаются в виде оксидов и хлоридов. В газообразных выбросах возможно наличие ртути, селена и арсена, которые частично испаряются из топлива.

2.1.1.5.1 Эмиссия тяжелых металлов при сжигании углей

Во время сжигания угля показатель эмиссии тяжелого металла $k_{эм}$, г/ГДж, является специфическим и определяется по формуле:

$$k_{эм} = \frac{c_{в.м.}}{Q_i^r} [a_{вих} f_{зб} (1 - \eta_{зу}) (1 - f_z) + f_z (1 - \eta_{ззу})]$$

где $c_{в.м.}$ – массовое содержание тяжелого металла в топливе, мг/кг;
 Q_i^r – низшая рабочая теплота сгорания топлива, МДж/кг;
 $a_{вих}$ – часть золы, которая выходит из котла в виде летучей золы;
 $f_{зб}$ – коэффициент обогащения тяжелого металла;
 $\eta_{зу}$ – эффективность золоулавливающей установки;
 f_z – частица тяжелого металла, которая выходит в газообразной форме;
 $\eta_{ззу}$ – эффективность уловления газообразной фракции тяжелого металла в золоулавливающей установке.

Массовое содержание тяжелого металла в топливе $c_{в.м.}$ определяется путем проведения элементного анализа сжигаемого топлива. При отсутствии данных анализа ориентировочные значения $c_{в.м.}$ определяют согласно таблице 2.12.

Таблица 2.12 – Содержание тяжелых металлов в энергетических углях

Марка угля	Содержание металла $c_{в.м.}$, мг/кг								
	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Zn
Антрацитовый штыб АШ	20	0	47	29	0,28	26	20	0	40
Тощие угли ТР	20	0	47	29	0,2	26	18	0	40
Донецкий газовый ГР	20	0	47	29	0,14	26	14	0	40
Донецкий длиннопламенный ДР	20	0	47	29	0,16	26	16	0	40
Львовско-волынский ГР	20	0	47	29	0,16	26	16	0	40
Александровский бурый Б1Р	20	0	47	29	0,16	26	14	0	40

Доля золы $a_{вих}$, которая выносится из энергетической установки в виде летучей золы, зависит от технологии сжигания топлива (см. табл. 2.2).

Коэффициент збагачення ($f_{зб}$) характеризует свойство "обогащения" (повышение содержания) тяжелого металла в частицах золы. Содержание тяжелых металлов в разных фракциях золы разное: в мелкой фракции золы содержание их выше, чем в крупной. Поскольку в золоулавливающей установке наиболее эффективно улавливается крупная фракция, то в атмосферный воздух выбрасывается мелкая фракция, в которой содержание тяжелых

металлов больше. В случае отсутствия данных для конкретных видов и марок сжигаемого твердого топлива в расчетах используют табличные коэффициенты $f_{зб}$ таблица 2.13.

Часть тяжелого металла, которая выходит из угля в газообразном виде f_z зависит от физико-химических свойств тяжелого металла. Ориентировочные значения f_z приведены в таблице 2.14.

Таблица 2.13 – Коэффициент "обогащения" тяжелых металлов после золоуловителя

Металл	$f_{зб}$			
	Степень улавливания			
	$\eta \leq 0,7$	$0,7 < \eta \leq 0,97$	$0,97 < \eta \leq 0,99$	$\eta > 0,99$
Арсен (As)	1,0	$\eta = 3,7$	$\eta = 175$	5,5
Кадмий(Cd)	1,0	$\eta = 7,04$	$\eta = 205$	7,0
Хром(Cr)	1,0	1,0	1,0	1,0
Медь(Cu)	1,0	$\eta = 0,37$	$\eta = 60$	2,3
Ртуть(Hg)	1,0	1,0	1,0	1,0
Никель(Ni)	1,0	$\eta = 1,48$	$\eta = 95$	3,3
Свинец(Pb)	1,0	$\eta = 5,56$	$\eta = 175$	6,0
Селен(Se)	1,0	$\eta = 7,78$	$\eta = 220$	7,5
Цинк(Zn)	1,0	$\eta = 7,04$	$\eta = 205$	7,0

Таблица 2.14 – Доля газообразной фракции тяжелого металла f_z при сжигании угля

Тяжелые металлы	Доля газообразной фракции f_z
Арсен (As)	0,005
Ртуть(Hg)	0,900
Селен(Se)	0,150

Эффективность улавливания твердых частиц золоулавливающей установкой η_{zy} зависит от типа очистительного оборудования, установленного на энергетической установке, например электростатического фильтра, рукавного фильтра, мокрого скруббера или батарейного циклона.

Эффективность улавливания газообразных тяжелых металлов η_{zzy} зависит от свойств тяжелого металла, типа золоуловителя и наличия других мероприятий очистки дымовых газов, таких, как сероочистные и азотоочистные установки. Эффективность улавливания газообразной фракции тяжелых металлов в электрофильтрах $\eta_{zzy} = 0,35$, для всех других золоуловителей $\eta_{zzy} = 0$.

2.1.1.5.1 Эмиссия тяжелых металлов при сжигании мазута

При сжигании в энергетической установке мазута образуются соединения тяжелых металлов, которые входят в состав мазутной золы. Соединения ванадия относятся к основным составляющим мазутной золы. Поэтому количество выбросов ванадия служит критерием вредного воздействия мазутной золы на окружающую среду.

Показатель эмиссии мазутной золы k_v , г/ГДж, в перерасчете на ванадий является специфическим и рассчитывается по формуле

$$k_v = \frac{c_v}{Q_i^r} (1 - \eta_{oc}) (1 - \eta_{zy(v)})$$

где Q_i^r – нижняя теплота сгорания топлива, МДж/кг;

c_v – массовое содержание ванадия в топливе, мг/кг;

η_{oc} – доля ванадия, оседающая с твердыми частицами на поверхностях нагрева котла;

$\eta_{zy(v)}$ – эффективность улавливания ванадия в золоуловителе.

Массовое содержание ванадия в мазуте c_v , мг/кг, определяется по результатам химического анализа мазута или рассчитывается по формуле:

$$c_v = 2222 A^r,$$

где A^r – массовое содержание золы в мазуте на рабочую массу, %/

Доля ванадия η_{oc} , которая оседает с твердыми частицами на поверхностях нагрева котлов, зависит от конструктивных особенностей котлов: $\eta_{oc}=0,07$ (для котла с промежуточными пароперегревателями, очистка поверхностей при остановке котла); $\eta_{oc}=0,05$ (для котла без промежуточных пароперегревателей, очистка поверхностей при остановке котла).

Эффективность очистки дымовых газов от мазутной золы (в пересчете на ванадий) $\eta_{zy(v)}$ в газомазутных котлах батарейными циклонами, которые специально применяются для этого (диапазон эффективности очистки $0,65 \div 0,85$), определяется по эмпирической формуле:

$$\eta_{zy(v)} = 3,1277 \eta_{zy}^2 - 1,4948 \eta_{zy} - 0,1412 ,$$

где η_{zy} – степень очистки дымовых газов от твердых частиц.

Показатель эмиссии пятиоксида ванадия $k_{V_2O_5}$ рассчитывают по формуле:

$$k_{V_2O_5} = k_v \frac{\mu_{V_2O_5}}{2\mu_v} = k_v \frac{182}{2 * 51} \approx 1,8 k_v ,$$

где k_v – показатель эмиссии мазутной золы в пересчете на ванадий;

$\mu_{V_2O_5}$ – молекулярная масса пятиоксида ванадия, 182 кг/моль;

μ_v – молекулярная масса ванадия, 51 кг/моль.

2.2 Автомобильный транспорт

В отличие от промышленных источников загрязнения, привязанных к определенным координатам и отделенных от жилой застройки СЗЗ, автотранспорт является подвижным (нестационарным) источником загрязнения атмосферы, осуществляющим выбросы в центральной части городов, внутри жилых кварталов, в местах массового отдыха.

В автомобиле существует три источника выбросов загрязняющих веществ:

- отработанные газы двигателей;
- картерные газы;
- топливные испарения.

Наиболее существенными из них являются *отработавшие газы*, их основными, токсичными элементами являются: оксид углерода, оксиды азота,

несгоревшие углеводороды, диоксид серы, сажа, соединения свинца, полициклические ароматические углеводороды.

Оксид углерода образуется в результате неполного сжигания топлива в камере сгорания: в обогащенной смеси – из-за неполного сгорания углерода при недостатке кислорода, а в сильно обедненной – из-за неполного распространения пламени. Этому способствует также эффект переохлаждения топливно-воздушной смеси на стенках камеры сгорания.

Количество *оксидов азота*, образующихся в камере сгорания, зависит от температуры, времени и коэффициента избытка воздуха. Обедненные топливно-воздушные смеси дают наивысшие концентрации оксидов азота, поскольку в них имеется избыточное количество кислорода при относительно высоких температурах горения.

Основной причиной неполного сгорания *углеводородов* является охлаждение топливной смеси стенками камеры сгорания, непрерывное смешивание топлива и воздуха во время впрыска и сгорания, низкая летучесть дизельного топлива. При этом в атмосферу поступает более 400 видов углеводородных соединений.

Существенные выбросы *диоксида серы* в дизельных двигателях обусловлены высоким содержанием серы в дизельном топливе.

Сажевый аэрозоль состоит из частиц углерода и тяжелых (жидких) углеводородов. При больших нагрузках на двигатель сажевый аэрозоль в основном составляют частицы углерода, при малых нагрузках – увеличивается количество тяжелых углеводородов.

Токсичность выбросов двигателей внутреннего сгорания обусловлена адсорбированными на поверхности частиц углерода полициклическими ароматическими углеводородами, из которых многие канцерогенны.

При использовании этилированных сортов бензина, в атмосферу попадают тетраэтилсвинец и другие соединения свинца, являющиеся сильнодействующими, токсичными веществами.

2.2.1 Расчет выбросов загрязняющих вещества от автомобильного транспорта

В основе методики расчета лежит масса потребленного топлива с учетом эксплуатационных факторов и технического состояния авто техники. Выбросы углеводородов с картерными газами и в виде испарений топлива учитываются соответствующим увеличением выбросов углеводородов с отработанными газами.

Масса выброса j -го загрязняющего вещества за период τ подвижным составом автомобильного транспорта, имеющего в своем составе n групп автомобилей k -го типа, определяется по формуле

$$M_j^\tau = \sum_{i=1}^n (g_{j1i} * G_{1i}^\tau + g_{j2i} * G_{2i}^\tau) * K_{Tji} * 10^{-3}, m \quad (2.1)$$

где g_{j1i} и g_{j2i} – удельные выбросы j -го загрязняющего вещества с единицы массы топлива, потребляемого автомобилями k -го типа в условиях движения в городах, населенных пунктах и вне их соответственно;

G_{1i}^τ и G_{2i}^τ – расход топлива автомобилями k -го типа в условиях движения в городах, населенных пунктах и вне их соответственно за период τ , m ;

K_{Tji} – коэффициент технического состояния автомобилей. Для диоксида серы и соединений свинца $K_{Tji}=1$.

Значения удельных выбросов загрязняющих веществ для современных автомобилей приведены в таблице 2.15.

Значения коэффициента K_{Tji} учитывающего воздействие технического состояния автомобилей, приведены в таблице 2.16.

Если нет данных по расходам топлива автомобилями отдельно в городах населенных пунктах и вне их, то масса выбросов j -го загрязняющего вещества подвижным составом автомобильного транспорта, который имеет n групп автомобилей k -го типа, за период τ определяется по формуле:

$$M_j^\tau = \sum_{i=1}^n g_{jvi} * G_i^\tau * K_{Tji} * 10^{-3}, m \quad (2.2)$$

где g_{jvi} – усредненный удельный выброс j -го загрязняющего вещества с единицы топлива, потребляемого автомобилями k -го типа, $кг/т$;

G_i^τ – расход топлива автомобилями k -го типа, m – определяется в соответствии с отчетностью по формам №1-тр, №1авт, №2авт.

Значения усредненных удельных выбросов загрязняющих веществ для современных автомобилей приведены в таблице 2.18.

Значения коэффициента K_{Tji} определяются по таблице 2.16.

Выбросы загрязняющих веществ легковыми автомобилями с дизелями рассчитываются по удельным выбросам для грузовых автомобилей с дизелями.

Выбросы загрязняющих веществ легковыми автомобилями с ДВС, работающими на сжатом природном газе (СПГ), рассчитываются по удельным выбросам для грузовых автомобилей с ДВС, работающих на СПГ.

Выбросы вредных веществ грузовыми автомобилями и автобусами с газодизелями рассчитываются по удельным выбросам для автомобилей и автобусов с дизелями.

Выбросы загрязняющих веществ автомобилями с ДВС с искровым зажиганием, работающими на бензогазовых смесях, рассчитываются по удельным выбросам для грузовых автомобилей с ДВС, работающих на сжатом природном газе.

Для автомобилей индивидуальных владельцев расход топлива определяется по реализации топлива через торговую сеть в данном регионе. Распределение расхода топлива для городов и сельской местности проводится пропорционально количеству автомобилей по месту регистрации.

Методика может быть использована для приблизительного расчета выбросов загрязняющих веществ от сельскохозяйственной техники. В этом случае удельные выбросы загрязняющих веществ принимаются такими же, как для грузовых автомобилей, работающих на соответствующем виде топлива (табл. 2.15) во время движения вне городов и населенных пунктов.

В случае отсутствия данных по расходу топлива автомобилями разных типов приближенный расчет выбросов загрязняющих веществ подвижным составом автомобильного транспорта можно вести, исходя из расхода топлива данного вида по нижеприведенной формуле:

$$M_i = \sum_{j=1}^m g_{jci} * G_i^r * K_{Tji} * 10^{-3}, m \quad (2.3)$$

где g_{jci} – *средний удельный выброс j -го загрязняющего вещества с единицы израсходованного i -го топлива, кг/т;*

G_i^r – *расход i -го топлива подвижным составом автотранспортного предприятия, т – определяется с использованием отчетности по форме №4-МТП или расход топлива в данном регионе;*

Средний удельный выброс g_{jci} выбирается из таблицы 2.17.

Коэффициент K_{Tji} определяется по таблице 2.16.

По формуле (2.3) можно также приближенно определить выбросы загрязняющих веществ сельскохозяйственной техникой.

Выбросы загрязняющих веществ от ДВС автомобилей при работе в режиме стационарных источников (внутригаражные разезды, посты техобслуживания, мойки) определяются в количестве 0,5 % от выбросов при расходовании заданного количества топлива. В том числе на гаражные разезды – 70 %, на техобслуживание 30 % от них.

Таблица 2.15 – Значения удельных выбросов загрязняющих веществ автомобилями (кг/т топлива).

При движении в условиях города и населенных пунктов

<i>При движении в условиях города и населенных пунктов</i>						
Группа автомобилей	g_{1CO}	g_{1CH}	g_{1NOx}	g_{1C}	g_{1SO2}	g_{1Pb}
Грузовые автомобили с ДВС, работающие на бензине и сжиженном нефтяном газе (СНГ)	233	56.9	16.37	-	0.6	0.23
Грузовые автомобили с дизелями	41.5	6.93	29.6	3085	5.0	-
Автобусы с ДВС, работающие на бензине и СНГ	233	56.9	16.37	-	0.6	0.23
Автобусы с дизелями	41.5	6.93	29.6	3.85	5.0	-
Грузовые автомобили и автобусы с ДВС, работающие на сжатом природном газе	92	30.8	23.2	-	-	-
Легковые служебные и специальные легковые автомобили, автомобили индивидуальных владельцев с ДВС, работающие на бензине и СНГ	233	33.5	16.37	-	0.6	0.5
<i>При движении вне городов и населенных пунктов</i>						
Группа автомобилей	g_{2CO}	g_{2CH}	g_{2NOx}	g_{2C}	g_{2SO2}	g_{2Pb}
Грузовые автомобили с ДВС, работающие на бензине и сжиженном нефтяном газе (СНГ)	152	34.2	28.5	-	0.6	0.23
Грузовые автомобили с дизелями	29.3	5.3	33.7	3.85	5.0	-
Автобусы с ДВС, работающие на бензине и СНГ	152	34.2	28.5	-	0.6	0.23
Автобусы с дизелями	29.3	5.3	33.7	3.85	5.0	-
Грузовые автомобили и автобусы с ДВС, работающие на сжатом природном газе	82.0	12.12	33	-	-	-
Легковые служебные и специальные легковые автомобили, автомобили индивидуальных владельцев с ДВС, работающие на бензине и СНГ	152	20.15	28.5	-	0.6	0.5

Таблица 2.16 – Коэффициент K_{Tji} , учитывающий воздействие технического состояния автомобилей на величину выбросов загрязняющих веществ

Группа автомобилей	$K_{T_{CO}}$	$K_{T_{CH}}$	$K_{T_{NOx}}$	K_{T_C}
Грузовые автомобили с ДВС, работающие на бензине и сжиженном нефтяном газе (СНГ)	1,7	1,8	0,9	-
Грузовые автомобили с дизелями	1,5	1,4	0,95	1,8
Автобусы с ДВС, работающие на бензине и СНГ	1,7	1,8	0,9	-
Автобусы с дизелями	1,5	1,4	0,95	1,8
Грузовые автомобили и автобусы с ДВС, работающие на сжатом природном газе	1,7	1,8	0,9	-
Легковые служебные и специальные легковые автомобили, автомобили индивидуальных владельцев с ДВС, работающие на бензине и СНГ	1,5	1,5	0,9	-

Примечание: Для диоксида серы SO_2 и соединений свинца Pb коэффициент K_T равен 1.

Таблица 2.17 – Значения средних удельных выбросов вредных веществ автомобилями (кг/т топлива)

Вид топлива	g_{CO}	g_{CH}	g_{NOx}	g_C	g_{SO_2}	g_{Pb}
Бензин	196,5	37,0	21,8	-	0,6	0,35
Сжиженный нефтяной газ (СНГ)	196,5	37,0	21,89	-	0,3	-
Дизельное топливо	36,0	6,2	31,5	3,85	5,0	-
Сжатый природный газ (СПГ)	87,5	22,4	27,8	-	-	-

Таблица 2.18 – Значения усредненных удельных выбросов вредных веществ автомобилями (кг/т топлива)

Группа автомобилей	g_{CO}	g_{CH}	g_{NOx}	g_{C}	g_{SO_2}	g_{Pb}
Грузовые автомобили с ДВС, работающие на бензине и сжиженном нефтяном газе (СНГ) при городских перевозках	225,7	54,8	17,46	-	0,6	0,23
Те же автомобили при других перевозках	169,8	39,2	25,8	-	0,6	0,23
Грузовые автомобили с дизелями при городских перевозках	40,4	6,8	30,0	3,85	5,0	-
Те же автомобили при других перевозках	32,0	5,65	32,8	3,85	5,0	-
Автобусы с ДВС, работающие на бензине и СНГ при городских перевозках	233	56,9	16,37	-	0,6	0,23
Те же автобусы при работе на пригородных и туристических маршрутах	210,36	50,5	19,76	-	0,6	0,23
Те же автобусы при междугородных перевозках	169,0	38,97	25,95	-	0,6	0,23
Те же автобусы при перевозках в сельской местности	177,92	41,45	24,6	-	0,6	0,23
Автобусы с дизелями при городских перевозках	41,5	6,93	29,6	3,85	5,0	-
Те же автобусы при работе на пригородных и туристических маршрутах	38,08	6,47	30,74	3,85	5,0	-
Те же автобусы при междугородных перевозках	31,86	5,64	32,84	3,85	5,0	-
Те же автобусы при перевозках в сельской местности	33,2	5,81	32,38	3,85	5,0	-
Грузовые автомобили с ДВС, работающие на сжатом природном газ (СПГ) при городских перевозках	91,1	29,13	24,07	-	-	-
Те же автомобили при других перевозках	84,2	16,29	30,8	-	-	-
Автобусы с ДВС, работающие на сжатом природном газ (СПГ) при городских перевозках	92	30,8	23,2	-	-	-
Те же автобусы при работе на пригородных и туристических маршрутах	89,2	25,6	25,94	-	-	-
Те же автобусы при междугородных перевозках	84,1	16,1	30,94	-	-	-
Те же автобусы при перевозках в сельской местности	85,2	18,15	29,86	-	-	-
Легковые служебные и специальные легковые автомобили с ДВС, работающие на бензине и СНГ и находящиеся на учете в городах	225,7	32,3	17,46	-	0,6	0,5
Те же автомобили, находящиеся на учете в сельской местности	177,92	24,42	24,62	-	0,6	0,5
Автомобили индивидуальных владельцев с ДВС, работающие на бензине и СНГ и находящиеся на учете в городах	202,22	28,43	20,98	-	0,6	0,5
Те же автомобили, находящиеся на учете в сельской местности	177,92	24,42	22,91	-	0,6	0,5

Примечание: Выбросы соединений свинца для автомобилей, работающих на сжиженном нефтяном газе, не определяются.

2.3 Машиностроительные предприятия

На машиностроительных предприятиях основными источниками загрязнения атмосферы являются следующие виды производств:

- сварка и тепловая резка металла;
- литейное производство;
- механическая обработка материалов;
- термические цеха;
- процессы нанесения лакокрасочных покрытий;
- процессы химической и электрохимической обработки.

2.3.1 Сварка и тепловая резка металла

При выполнении **сварочных работ и тепловой резке металла** воздух загрязняется сварочным аэрозолем, в составе которого в зависимости от вида сварки, марок электродов и флюса находятся вредные для здоровья оксиды металлов (железа, марганца, хрома, ванадия, алюминия, цинка, меди...) в виде твердых частиц и газообразные соединения (HF , CO , NO_x , O_3 – озон).

Образующийся аэрозоль характеризуется мелкой дисперсностью (скорость витания частиц не превышает 0,1 м/с). По мере удаления от источника выброса, как по горизонтали, так и по вертикали концентрация вредных веществ в воздухе резко уменьшается и на расстоянии 2-4 м приближается к общему фону загрязнения воздуха в помещении.

Количество образующихся при сварке и резке пыли и газов принято характеризовать валовыми выделениями, отнесенными к 1 кг расходующихся электродов (табл. 2.19); при резке – к 1 м длины разреза в соответствии с толщиной материала (табл. 2.20).

Таблица 2.19 – Удельное выделение загрязняющих веществ в атмосферу при сварке

Марка электрода	Удельный выброс, г/кг								
	Твердые частицы						Газообразные		
	Железа (III) оксид Fe ₂ O ₃	Марганца (IV) оксид MnO ₂	Хрома (IV) оксид Cr ₂ O ₃	Кремниевый оксид (SiO ₂)	Прочие		Водород фтористый (HF)	Азота оксид (в пересчете углерода (II) оксид (CO))	
					Наименование	Количество			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ручная дуговая сварка электродами									
АНВ-17	11,98	0,71	1,35	1,43	Никеля оксид	0,72	2,70	-	-
					Фториды хорошо/плохо растворимые	1,14/6,50	-	-	-
АНО-33	7,50	0,75	-	0,28	Фториды хорошо/плохо растворимые	0,60/1,40	0,03	-	-
АНП-8	9,68	1,05	0,57	2,69	Фториды хорошо/плохо растворимые	1,34/1,75	0,70	-	-
АНТМ-17	7,70	0,29	0,54	2,25	Фториды хорошо/плохо растворимые	1,20/1,48	0,01	-	-
УОНИ-13/55	14,9	1,09	-	1,00	Фториды хорошо/плохо растворимые	4,80/2,70	1,26	2,70	13,30
ЗА-606/11	9,72	0,68	0,60				0,004	1,30	1,40
Э48-М/18	8,57	1,00	1,43	-	Фториды хорошо/плохо растворимые	0,75/1,50	0,001	-	-

Таблица 2.20 – Удельное выделение загрязняющих веществ в атмосферу при резке стали

Толщина листа, мм	Пыль, г/м ³	СО, г/м ³	NO _x , г/м ³
Газовая резка стали			
5	2,25	1,5	1,18
10	4,5	2,18	2,2
15	9	2,93	2,4
Плазменная резка стали углеродистой низколегированной			
10	4,1	1,4	6,8
14	6	2	10
20	10	2,5	14

2.3.2 Литейные цеха

В состав литейного цеха машиностроительного завода входят:

- плавильные агрегаты;
- шихтовый двор;
- участки подготовки формовочных и стержневых смесей;
- участок разлива металла;
- участок очистки литья.

В качестве плавильных агрегатов используются:

- ✓ вагранки открытого и закрытого типа;
- ✓ электродуговые печи;
- ✓ индукционные печи.

Вагранка – печь шахтного типа для плавки чугуна в литейных печах (рис. 2.1). Плавка происходит за счет тепла, выделяющегося при сжигании кокса.

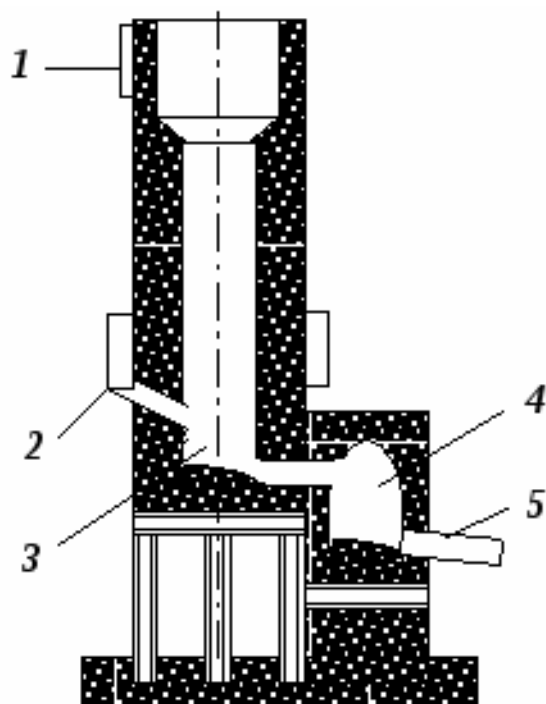


Рисунок 2.1 – Схема вагранки:

- 1 – колошниковое отверстие;
- 2 – фурмы;
- 3 – горн;
- 4 – накопитель;
- 5 – летка.

Электродуговая печь – промышленная печь, в которой для плавки металлов и других материалов используется теплота электрической дуги (рис. 2.2).

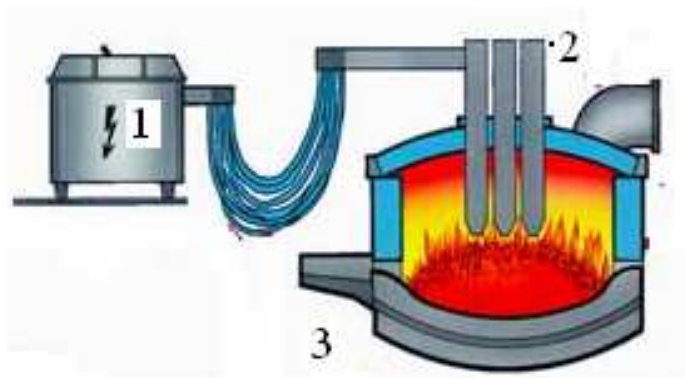


Рисунок 2.2 – Схема электродуговой печи:
1 – трансформатор;
2 – электроды;
3 – емкость, футерованная огнеупорным материалом.

Индукционная печь – электрическая плавильная печь, в которой металл помещается в переменное электромагнитное поле, в результате чего в металле индуцируется нагревающий его электрический ток (рис. 2.3).

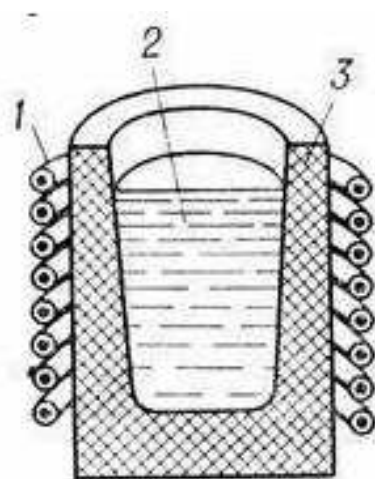


Рисунок 2.3 – Схема индукционной тигельной печи:
1 – индуктор (соленоид из медной водоохлаждаемой трубки);
2 – расплав;
3 – тигель из огнеупорного материала.

Расчет выбросов плавильного агрегата производится по формуле:

$$П = q Д \beta (1 - \eta), \quad (2.5)$$

где q – удельное выделение вещества на единицу продукции, кг/т (табл. 2.21, 2.22);

$Д$ – расчетная производительность агрегата, т/ч;

β – поправочный коэффициент для учета условий плавки (табл. 2.23);

η – эффективность средств по снижению выбросов (в долях единицы).

Таблица 2.21 – Удельное выделение загрязняющих веществ q, кг/т при плавке чугуна в открытой вагранке

Производительность вагранки, т/ч	Пыль	CO	SO ₂	C _m H _n	NO _x
2	20	200	1.5	2.6	0.014
3	20	200	1.4	2.4	0.014
4	20	200	1.4	2.3	0.012
5	20	185	1.4	2.2	0.013
7	19	200	1.5	2.4	0.014
10	19	180	1.4	2.2	0.014
15	17	180	1.3	2.1	0.012
20	18	190	1.5	2.3	0.014
25	19	200	1.4	2.4	0.014

Закрытые чугуно-литейные вагранки производительностью 5-10 т/ч при плавке чугуна выделяют в среднем на тонну выплавляемого металла следующие количества загрязняющих веществ:

пыль – 11,5 кг;

CO – 193 кг;

C_mH_n – 0,7 кг;

SO₂ – 0,4 кг.

Химический состав пыли вагранки:

SiO₂ - 20-50 %

Al₂O₃ – 0.5-6 %

CaO – 2-12 %

MgO – 0.5-4 %

Fe₂O₃+FeO – 10-36 %

C – 30-45 %

Таблица 2.22 – Удельное выделение загрязняющих веществ из электродуговых печей q, кг/т

Емкость печи, Т	Выплавка стали				Выплавка чугуна			
	Производитель- ность, Т/ч	q, кг/т			Производи- тельность, Т/ч	q, кг/т		
		пыль	С О	NO _x		пыль	СО	NO _x
0,5	0,33	9,9	1,1	0,27	-	-	-	-
1,5	0,94	9,8	1,2	0,26	-	-	-	-
3	1,56	9,5	1,3	0,26	1,65	9,5	1,3	0,26
5	2,0	9,4	1,3	0,26	2,5	9,4	1,3	0,26
6	2,7	9,2	1,4	0,27	2,8	9,2	1,4	0,27
10	3	8,8	1,4	0,27	4,5	8,8	1,4	0,27
12	3,42	8,7	1,5	0,29	5,1	8,7	1,5	0,29
20	5,9	8,1	1,5	0,29	7,0	8,1	1,5	0,29
25	6,2	7,6	1,5	0,29	8,0	7,6	1,5	0,29

Таблица 2.23 – Значение коэффициента β

Условия плавки	Для стали	Для чугуна
Кислый процесс		
Основной процесс	1	1
Применение кислорода	0,8	0,67
Плавка легированной ста- ли	1,15	1,1
Предварительный нагрев шихты до 400 °С	0,85	-
	-	1,22

Дисперсный состав пыли закрытой чугуно-литейной вагранки представлен в таблице 2.24.

Таблица 2.24 – Дисперсный состав пыли закрытой чугуно-литейной вагранки

Условия плавки	Диаметр частиц, мкм						
	< 5	5-10	10-25	25-50	50-75	75-150	> 150
при горячем дутье	16,6%	13,3	16,0	13,2	12,5	18,4	10
при холодном дутье	-	2,4	6,2	21,8	26,4	29,9	13,3

При выпуске 1 тонны чугуна из вагранок в ковши, в атмосферу цеха выделяется около 125-130 г СО, 18-22 г графитной пыли.

При разливе чугуна в формы в атмосферу выделяется СО. Его количество зависит от массы отливок m , кг (табл. 2.25).

Таблица 2.25 – Удельное выделение СО при розливе чугуна в формы

m , кг	8-30	31-50	51-100	101-200	201-300	301-500	501-1000	1001-2000
q , кг/т	1,2	1,1	1,05	1,00	0,9	0,8	0,75	0,7

Кроме пыли, СО и NO_x в выбросах электродуговых печей присутствуют:

- оксиды серы – 1,6 г/т;
- цианиды – 28,4 г/т;
- фториды – 0,56 г/т.

При плавке нержавеющей, жаропрочных и кислотоупорных сталей удельное выделение пыли в отходящих газах следует увеличить в 1,4-1,5 раза.

При продувке кислородом выделение пыли принимают ориентировочно 0,5 кг на 1 м³ кислорода.

Для индукционных печей при плавке чугуна и стали средний удельный показатель выделения пыли составляет 0,75–1,5 кг/т металла.

Масса загрязняющих газообразных веществ незначительна.

Необходимо учитывать организованные выбросы за счет не плотностей технологического оборудования и при выполнении некоторых операций (выпуск расплавленного металла в ковш, изложницы). Они составляют в среднем 40% массы веществ, выделяемых плавильными агрегатами.

Для оценки суммарного количества организованных и неорганизованных выбросов в формулу 2.5 следует ввести коэффициент 1,4.

Плавка цветных металлов и сплавов на их основе на машиностроительных заводах осуществляется в индукционных, электродуговых и печах сопротивления, производительностью от 0,15 до 2,0 т/ч.

В газовых выделениях содержатся (табл. 2.26):

- возгоны металла и его оксидов;
- оксиды серы, азота и углерода;
- фтористый водород, аммиак, ионы хлора, графитовая пыль, фтористый кальций, фтористый барий и др.

Таблица 2.26 – Удельное выделение загрязняющих веществ (кг/т) при литье цветных металлов и сплавов

Плавильное оборудование	Пыль	NO _x	SO ₂	CO	Прочие вещества
Индукционные печи	1,2	0,7	0,4	0,9	0,2
Электродуговые печи	1,8	1,2	0,8	1,1	0,3
Печи сопротивления	1,5	0,5	0,7	0,5	0,3
Газомазутные Плавильные печи	2,8	0,6	0,6	1,4	0,18

На различных участках литейного производства имеет место загрязнение воздуха пылью при проведении различных операций с сыпучими материалами (табл. 2.27).

В процессе приготовления формовочных смесей в процессах сушки, дробления, помола и смешения их компонентов выделяется пыль до 15 кг/т.

Дополнительное выделение веществ имеет место в случае применения для сушки стержней и форм жидкого или твердого топлива.

При использовании формовочных смесей холодного твердения, содержащих:

- *фенолформальдегидную смолу*, выделяются: CO, бензол, фенол, формальдегид, метанол;
- *карбамидную смолу*, выделяются: CO, формальдегид, метан, цианиды, аммиак.

Таблица 2.27 – Удельное выделение пыли при операциях с различными сыпучими материалами

Вид работ	Вид сыпучего материала						
	Песок	Цемент бетонит	Извест- няк	Кокс литей- ный	Уголь камен- ный	Глина формо- вочная	Опилки торфя- ная крошка
Выгрузка из вагонов и самосвалов грейферными механизмами в приемные ямы	0,1	0,25	0,23	0,28	0,14	0,08	0,33
Загрузка в приемные бункера и хранилища	-	0,31	0,75	0,7	0,4	0,12	0,85

Окончание таблицы 2.27

Перемещение материала, а) одноковшовым экска- ватором (производитель- ность до 90 м ³ /ч)	0,05	0,09	0,15	0,05	0,03	0,04	0,05
б) мостовым краном с грейферным механизмом и канатно-скреперными установками (произв. до 17 м ³ /ч)	0,15	0,28	0,45	0,15	0,07	0,12	0,13

Извлечение отливок из песчано-глинистых форм и освобождение их от отработанных формовочных смесей производится с помощью выбивающего оборудования и сопровождается выделением пыли, горелой земли и окалина в количестве до 30 кг/т отлитого металла.

2.3.3 Механическая обработка металлов

Механическая обработка металлов – это резание и абразивная обработка, которые сопровождаются выделением в атмосферу:

- пыли;
- стружки;
- туманов масел и эмульсий.

Объем выбросов определяется исходя из нормо-часов работы станочного парка.

Интенсивность пылеобразования при резании (табл.2.28) зависит от:

- ✓ вида и мощности установленного оборудования;
- ✓ скорости резания;
- ✓ величины подачи режущего инструмента;
- ✓ геометрических параметров режущего инструмента;
- ✓ от состава материала обрабатываемого изделия.

Интенсивность пылеобразования при абразивной обработке (табл.2.29) зависит от:

- мощности станка;
- глубины резания;
- диаметра круга.

Медианный размер частиц пыли составляет 15-60 мкм.

Таблица 2.28 – Удельные выбросы при механической обработке металлов резанием

Оборудование	Установленная мощность, кВт	При охлаждении маслом	При охлаждении эмульсией		Пыль, г/ч
		аэрозоль масла, г/ч	аэрозоль эмульсола, мг/ч	пары воды, кг/ч	
Токарные станки малых и средних размеров	0,65-14	0,13-2,8	4-88	0,1-2,1	2-4
Фрезерные	2,8-14	0,56-2,8	17-88	0,4-2,1	15-25
Сверлильные	1-10	0,2-2,0	60-63	0,2-1,5	3-5

Таблица 2.29 – Удельное выделение пыли при абразивной обработке

Оборудование	Диаметр шлифовального станка, мм	Удельные выделения пыли, г/ч
Кругло-шлифовальный станок	150	117
	300	155
	400	180
	900	310
Заточный станок	100	30-40
	200	62-85
	300	110-135

2.3.4 Термические цеха

К основному оборудованию термических цехов относятся нагревательные печи, работающие на газе и мазуте, электротермические печи и ванны. Их количественные характеристики выделения веществ в отдельных процессах приведены в табл.2.30.

Таблица 2.30 – Выделение загрязняющих веществ в термических цехах

Тип оборудования, технологический процесс	Вещество	Количество
1. Нагревательные устройства –печи со сжиганием природного газа	CO NO _x	12,9 г/м ³ газа 2,15 г/м ³ газа
2. Соляные ванны:		
а) нагрев под закалку в расплавах хлористого бария, натрия, калия	аэрозоли хлористый водород	0,35 г/кг металла 0,12 г/кг металла
б) охлаждение и отпуск стальных деталей в смесях из углекислого натрия, хлористого натрия и углекислого калия	аэрозоли	0,25 г/кг металла
3. Цианирование		
а) низкотемпературное	аэрозоли цианистый водород	0,25 г/кг деталей 0,3 г/кг деталей
б) высокотемпературное	аэрозоли цианистый водород	0,36 г/кг деталей 0,3 г/кг деталей
1. Масляные ванны и баки		
а) закалка	аэрозоли и пары масла	0,1 г/кг
б) отпуск	аэрозоли и пары масла	0,08 г/кг
2. Очистные дробометные установки	пыль металлическая, окалина	1,5 г/кг деталей
6. Установки для нанесения антицементационных покрытий	пары бензола и толуола	2 г/кг деталей

2.3.5 Лакопокраска

В качестве исходных данных для расчета выделения загрязняющих веществ при различных способах нанесения лакокрасочного покрытия принимают:

- фактический или плановый расход окрасочного материала;
- долю содержания в нем растворителя;
- долю компонентов лакокрасочного материала, выделяющихся из него в процессе окраски и сушки.

Масса аэрозоля краски $\Pi^a_{ок}$ (кг), выделившаяся при нанесении лакокрасочного покрытия на поверхность материала, рассчитывается по формуле:

$$\Pi^a_{ок} = m_k \delta_a 10^{-2},$$

где m_k – масса краски, используемой для покрытия, кг;
 δ_a – доля краски, потерянной в виде аэрозоля, % (табл.2.26).

Масса паров растворителя $\Pi^{нар}_{ок}$ (кг), выделившихся при нанесении лакокрасочного покрытия на поверхность материала, определяется по формуле:

$$\Pi^{нар}_{ок} = m_k f_p \delta'_p 10^{-4},$$

где f_p – доля летучей части (растворителя) в лакокрасочном материале, %;
 δ'_p – доля растворителя, выделившегося при нанесении покрытия, %
 (табл. 2.31).

Масса паров растворителя $\Pi^{нар}_c$ (кг), выделившихся в процессе сушки окрашенного изделия, определяется по формуле:

$$\Pi^{нар}_c = m_k f_p \delta''_p 10^{-4},$$

где δ''_p – доля растворителя, выделившегося при сушке покрытия, %
 (табл. 2.30).

Считается, что в процессе формирования лакокрасочного покрытия происходит практически полный переход летучей части (растворителя) в парообразное состояние.

Таблица 2.30 – Выделение загрязняющих веществ при нанесении лакокрасочных покрытий

Способ окраски	Аэрозоли, % от массы израсходован- ной краски	Пары растворителя, % от общего содержания растворителя в краске	
	окраска	окраска	сушка
<i>Распыление</i>			
пневматическое			
безвоздушное	30	25	75
гидроэлектростатическое	2,5	23	77
пневмоэлектрическое	1	25	75
электростатическое	3,5	20	80
горячее	0,3	50	50
<i>Электроосаждение</i>	20	22	78
<i>Струйный облив</i>	-	10	90
<i>Окунание</i>	-	35	65
<i>Покрытие лаком в лаконо- ливных машинах:</i>	-	28	72
металлические изделия			
деревянные изделия	-	60	40
	-	80	20

2.3.6 Гальваническая обработка

При гальванической обработке деталей выделяются аэрозоли: серной, соляной кислот и едких щелочей, а также пары:

- ✓ оксиды азота;
- ✓ азотной и соляной кислот;
- ✓ цианистый водород;
- ✓ фтористый водород;
- ✓ хромовый ангидрид.

Для расчета количества загрязняющих веществ, выделяющихся при гальванической обработке принят удельный показатель q (г/ч м²), отнесенный к площади поверхности гальванической ванны.

Количество загрязняющих веществ, т/ч, отходящего от единицы технологического оборудования, определяется по формуле:

$$P_o = 10^{-6} \tau q F K_z K_y,$$

где τ – время, ч;

q – удельное количество вещества, выделяющегося с единицы поверхности гальванической ванны при номинальной загрузке, г/ч м² (табл.2.32);

F – площадь зеркала ванны, м²;

K_z – коэффициент загрузки ванны;

K_y – коэффициент укрытия ванны:

при наличии ПАВ $K_y=0,5$;

при отсутствии ПАВ $K_y=1$.

Таблица 2.32 – Удельное количество загрязняющих веществ, выделяющихся с поверхности гальванических ванн при различных процессах гальванической обработки

Процесс	Вещество	Количество, г/ч м ²
1.Обезжиривание изделий		
а) органическими растворителями	бензин	4530
	керосин	1560
	уайт-спирит	5800
	бензол	2970
б)химическое, в растворах щелочи	едкая щелочь	1,0
в)электрохимическое	едкая щелочь	39,6
2.Химическое травление изделий		
а) в растворах хромой кислоты и ее солей при 50 ⁰ С	хромовый ангидрид	0,02
б) в растворах щелочи при 50 ⁰ С	едкая щелочь	198
в) в разбавленных нагретых 50 ⁰ С и концентрированных растворах серной кислоты	серная кислота	25,2
3.Снятие старых покрытий		
а) олова и хрома	едкая щелочь	39,6
б) меди	хромовый ангидрид	36
в) никеля и серебра	серная кислота	25,2
4.Нанесение покрытий на изделие		
а)электрохимическая обработка в растворах хромо- вой кислоты концентрацией 150-300 г/л при сила тока 1000 А(хромирование, анодирование, декапи- рование)	хромовый ангидрид	36
б)химическая обработка в растворах щелочи при 50 ⁰ С (получение металлических покрытий контакт- ным способом, оксидирование сталей и чугунов)	едкая щелочь	198

Количество паров органических растворителей $\Pi_{ор.р}$ (*г/ч*), выделяющихся при процессах обезжиривания изделий, определяется по формуле:

$$\Pi_{ор.р}=10^{-6} \tau q F ,$$

где τ – коэффициент, зависящий от площади испарения (табл. 2.33).

Таблица 2.33 – Значение коэффициента m

F, м²	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
m	2,56	2,17	1,85	1,6	1,45	1,3	1,23	1,13	1,061	1,0

Если в ванне находится несколько растворов различных веществ, то количество выделяющихся веществ рассчитывается как сумма веществ для всех растворов.

2.4 Деревообработка

При деревообработке в воздух выделяются следующие загрязняющие вещества:

- опилки, стружка, шлифовальная пыль – при механической обработке древесины;
- пары формальдегида, фенола, аммиака – при горячем прессовании, склеивании и сушки шпона;
- пары ароматических углеводородов – при отделке изделий.

Количество опилок, стружки, пыли при механической обработке древесины зависит от применяемого станка и коэффициента использования машинного времени.

Количество пыли (частицы размером менее 200 мкм) $G_{\text{пыль}}$ (кг/ч) определяется по формуле:

$$G_{\text{пыль}} = G_0 K_n$$

где G_0 – среднечасовое количество отходов, получаемое от рассматриваемого оборудования, кг/ч (табл.2.34);

K_n – коэффициент содержания пылевидных отходов (частицы размером менее 200 мкм) (табл. 2.34).

Таблица 2.34 – Значения параметров G_0 и K_n

Станок	Коэффициент использования машинного времени	G_0 , кг/час	K_n
Круглопильный, УП	0,7	21	0,3
Строгальный, СФ-4	0,9	97	0,25
Шлифовальный, ШЛ2Д	0,7	4	0,95

Количество пылевидных отходов $G_{\text{пыль}}^{\text{атм}}$ (кг/ч), поступающих в атмосферу после очистки в пылеуловителе, рассчитывают по формуле:

$$G_{\text{пыль}}^{\text{атм}} = G_0 K_n K_{\text{эмо}} (1 - K_{\text{по}}),$$

где $K_{\text{эмо}}$ – коэффициент эффективности местного отсоса;

$K_{\text{по}}$ – степень очистки пылеулавливающего оборудования.

При проведении операций склеивания и отделки выделяются вредные вещества из применяемых смолосодержащих и лакокрасочных материалов в виде паровоздушных смесей.

При применении карбамидо- и фенолформальдегидных смол количество выделяемых в атмосферу веществ $G_{\text{скл+отд}}$ (кг/ч) определяется по формуле:

$$G_{\text{скл+отд}} = G_{\text{см}} K_1 (1 - K_2) K_3 \cdot 10^{-2},$$

где $G_{\text{см}}$ – расход смолы, кг/час;

K_1 – содержание свободного формальдегида, фенола в составе смолы, зависит от марки смолы (табл.2.35);

K_2 – характерное количество свободного фенола, формальдегида, остающегося в готовой продукции, зависящего от вида технологического процесса (табл. 2.36);

K_3 – характерное выделение вредных веществ по участкам.

Таблица 2.35 – Содержание свободного формальдегида и фенола K_1 в составе смолы

Марка смолы	Содержание формальдегида, %	Содержание фенола, %
МФ	3-4	-
ПМФ	1,0	-
ОФЖ - 3011	1,0	2,5

Таблица 2.36 – Значения коэффициентов K_2 и K_3

Значения K_2	Значения K_3
Производство мебели – 0,7	Клеенамазывающие вальцы – 0,83
Производство ДСП – 0,6	Сушилка намазанного шпона – 0,75
Производство фанеры – 0,5	Склад готовой продукции – 0,01

Количество загрязняющих веществ $G_{омд}$ (кг/ч), поступающих в атмосферу из отделочных материалов, определяется по формуле:

$$G_{омд}=0,8 G_m K_k 10^{-2},$$

где G_m – расход отделочного материала, кг/ч;

K_k – содержание рассчитываемого компонента в составе летучей части отделочного материала, % (табл.2.37);

0,8 – коэффициент поступления летучих веществ в атмосферный воздух.

Таблица 2.37 – Состав растворителей

Компоненты	Р-4	Р-5	РКБ-1
	состав, %		
Ацетон	26	30	-
Бутил ацетат	12	30	50
Бутиловый спирт	-	-	50
Ксилол	-	40	-
Толуол	62	-	-

2.5 Черная металлургия

На предприятиях черной металлургии наиболее массовыми источниками выбросов пыли в атмосферу являются следующие технологические процессы:

- подготовка сырья;
- производство кокса;
- доменное производство;
- производство стали;
- производство проката.

Доля неорганизованных выбросов в общем объеме выбросов предприятия может достигать 10-26%.

2.5.1 Процесс агломерации (обогащения)

Процесс агломерации (обогащения) заключается в дроблении руды, кокса, смешивании их с колошниковой пылью и последующем спекании всей шихты.

Для аглофабрики производительностью $10 \div 11 \times 10^3$ т/сут количество агломерационных газов, выбрасываемых в атмосферу, составляет $1,83 \times 10^6$ м³/час. Их запыленность $8 \div 10$ г/м³ содержание : CO – 0,6-0,9%, CO₂ – 4,2%, SO₂, – 0,05%.

2.5.2 Производство кокса

Производство кокса промышленный метод переработки топлива путем его нагревания без доступа воздуха до температуры 900-1100 °С.

Весь процесс делится на два цикла:

- выработка кокса;
- улавливание продуктов коксования.

Примерный состав коксового газа, %:

CO – 1,6-3;	CO ₂ – 5-6,5;
O ₂ - 0,4-0,8;	H ₂ – 58-62;
N ₂ .- 2-3,5;	C _m H _m – 2-2,5;
CH ₄ – 24,5-26,5.	

2.5.3 Доменное производство

Доменное производство – производство (выплавка) чугуна в доменной печи.

Доменная печь состоит из стальной шахты, выложенной огнеупорным материалом, в которую сверху подают шихту (железная руда, кокс, известняк), а снизу воздух нагретый до температуры 800-1100 °С. При сжигании кокса образуется CO, который обеспечивает восстановление оксидов железа, а выделяющееся тепло обеспечивает нагрев до температур плавления железа и железной руды. Расплавленный чугун и шлак опускаются в нижнюю часть доменной печи, откуда периодически удаляются через специальное отверстие (летку).

Продукты сгорания (колошниковые газы) удаляются из верхней части печи и затем используются как топливо, поскольку обладают высокой теплотой сгорания – до 3,7 МДж/м³.

Колошниковый газ содержит в своем составе:

- пыль – до 30 г/м³;
- CO – 23-40%;
- CO₂ – 15-22%;
- H₂ – 1,5-8%;
- следы SO₂ и H₂S.

Количество колошникового газа составляет 1100-2200 м³/т чугуна.

Имеют место выбросы газов в атмосферу при следующих технологических операциях:

- выпуск чугуна;
- охлаждение шлака;
- обессеривание горячего металла.

2.5.4 Производство стали

Производство стали осуществляется:

- в конвертерах с кислородным дутьем;
- в электросталеплавильных печах;
- в мартеновских печах.

В общем балансе пылегазовых выбросов сталеплавильных агрегатов на долю мартеновского производства стали приходится:

- ✓ 75% пыли;
- ✓ 85% оксидов азота;
- ✓ 90% оксидов серы.

Мартеновская печь – емкость из огнеупорного кирпича, предназначенная для переработки чугуна и скрапа (металлолома) в сталь.

В ванну мартеновской печи загружают шихту (чугун, скрап, легирующие вещества, известь), подают природный газ, воздух и кислород. При сгорании природного газа происходит нагрев и плавление шихты, выгорание углерода.

Применение кислорода для интенсификации процесса в печи повышает запыленность отходящих газов до 10÷15 г/м³. Пыль на 85÷88% состоит из оксидов железа, являющихся частично продуктами возгонки металла в реакционной зоне ванны, а частично – продуктами механического уноса дымовыми газами части расплава.

Количество частиц менее 1х10⁻⁶ м достигает 70÷85%. Из вредных примесей газы содержат:

СО – до 1%, образуется в результате неполного окисления углерода, содержащегося в чугуне;

SO₂ – образуется в результате окисления серы, содержащейся в чугуне;

NO_x – образуется в результате окисления азота, содержащегося в воздухе, подаваемом в печь при высоких температурах.

2.5.5 Производство проката

В **прокатном производстве** выделение загрязняющих веществ в атмосферу по сравнению с другими цехами заводов черной металлургии значительно меньше.

Основными источниками выбросов являются:

- прокатные станы;
- машины огневой зачистки;
- травильные отделения.

Прокатные станы. При горячей прокатки металла **пыль** образуется при измельчении окалины валками прокатного стана и испарения в результате мгновенного повышения давления и температуры. На 1 тонну проката выделяется до 100 г пыли, 20% пыли имеют размер до 10 мкм.

Машины огневой зачистки. Зачистка поверхности заготовки осуществляется при помощи горелок в результате расплавления и частичного сгорания верхнего слоя металла, толщиной 1-6 мм. Часть расплавленного металла при помощи гидросмыва поступает в лоток, расположенный над реллингом, и водой транспортируется в яму для окалины. Другая часть испаряется, сгорает и в виде **пыли** выносится из машины с отходящим газом.

Травильные отделения. Для удаления окалины с горячекатаной полосы перед холодной прокаткой применяют травление в соляной или серной кислоте. В атмосферу поступают *пары кислот*, выделяющиеся с поверхности травильных ванн. Унос паров соляной кислоты с поверхности ванны за сутки может достигать 3% кислоты, содержащейся в ней.

2.6 Цветная металлургия

Наиболее существенный вклад в загрязнение воздушного бассейна предприятиями цветной металлургии вносят заводы по *производству алюминия*.

Алюминий производят в 2 стадии:

- 1 Рафинирование бокситов (горная порода, состоящая в основном из гидратов глинозема) до оксида алюминия Al_2O_3 (глинозема);
- 2 Восстановление оксидов алюминия в электролизерах.

При производстве Al_2O_3 из бокситов руду дробят, высушивают, вываривают в нагретом каустическом растворе, обжигают во вращающихся печах при температуре 1300 °С.

Производство глинозема сопровождается выделением большого количества запыленных газов. Содержание пыли в газах может достигать:

- в дробилках, мельницах – $5 \div 20 \text{ г/м}^3$;
- в сушилках – до 80 г/м^3 ;
- в обжиговых печах – $20 \div 30 \text{ г/м}^3$.

Кроме пыли отходящие газы содержат: HCl , HF , CO , SO_2 .

Электролиз осуществляется в расплаве оксида алюминия и криолита при температуре более 658°C . Требуемый состав электролита поддерживается за счет добавок солей фтора. В ходе электролиза имеются потери фтора из-за термодиссциации криолита на его составляющие: фториды натрия и алюминия, которые частично испаряются.

Удельный объем отходящих газов может достигать $(4 \div 6) \times 10^{-5} \text{ м}^3/\text{т}$ алюминия.

Удельный выброс загрязняющих атмосферу веществ составляет:

- соединения фтора – до 20 кг/т ;
- сернистые соединения до $10 \div 12 \text{ кг/т}$;
- смолистые вещества до 11 кг/т ;
- пыль $30 \div 85 \text{ кг/т}$.

Примерная концентрация вредных веществ в газах:

- ✓ HF – 65 мг/м^3 ;
- ✓ соединения серы – 40 мг/м^3 ;
- ✓ смола – 55 мг/м^3 ;
- ✓ пыль – 100 мг/м^3 .

Дисперсный состав пыли электролизных ванн приведен в таблице 2.38.

Таблица 2.38 – Дисперсный состав пыли

Размер частицы, мкм	0-2	2-5	5-10	10-20	>20
Состав, %	7-25	6-25	8-20	9-18	70-12

2.7 Строительная промышленность

2.7.1 Производство кирпича

Производство кирпича включает операции:

- добычу, дробление, просеивание, составление шихты из исходных материалов;
- формирование кирпича и резку;
- сушку и обжиг.

В качестве исходного материала используется глина с добавлением шлака, песка, опилок, кокса и воды. Перед обжигом глиняные формы полностью высушиваются за счет использования тепла от печей сжигания.

Для обжига кирпича используются печи тоннельного типа, работающие на газе, нефти или угле. В процессе обжига в кирпиче происходит испарение воды, дегидратация, окисление, спекание и охлаждение. Формы для глины устанавливаются на небольшие тележки, которые медленно движутся через нагретый тоннель.

При производстве кирпича основными источниками образования загрязняющих веществ являются:

- 1) погрузочно-разгрузочные работы, транспортировка, дозировка, хранение – дают выбросы частиц мелкодисперсной сухой глины и ее примесей;
- 2) сгорание топлива в печах, процессы озоления и испарения примесей, находящихся в глине, дают выбросы, содержащие:

- аэрозоли;
- диоксид серы;
- оксиды азота;
- оксид углерода;
- фториды.

Состав выбросов зависит от вида топлива, примесей и рабочих температур в печи.

Средний удельный объем выбросов составляет 30-40 кг/т.

2.7.2 Производства цемента

Процесс производства цемента включает:

- *Добычу, дробление, смешивание исходных материалов.* Сырьем является смесь природного известняка и глины или глинистых сланцев. Известняк и глину добывают в карьерах, расположенных, как правило, неподалеку от завода. Самосвалами или вагонетками транспортируют на дробилку, где осуществляется первичное и вторичное дробление, дозировка, транспортировка исходного сырья.

- *Производство клинкера*, которое осуществляется во вращающихся печах, представляющих собой наклонный стальной цилиндр. Топливо (уголь, нефть или газ) сжигают в нижнем торце печи. Сырье подается в верхний торец и вращаясь движется вниз. Осуществляется процесс нагрева и испарения влаги, удаление связанной воды и углекислого газа, получение новых смесей,

таких как силикаты, алюминаты, ферриты. Клинкер формируется в виде сферических твердых зерен.

- *Охлаждение, отгрузка клинкера, смешение его с гипсом, дробление, хранение, расфасовка цемента.*

Источниками образования загрязняющих веществ в атмосферу при производстве цемента являются:

- добыча, хранение, дробление, дозировка и транспортировка исходного сырья;
- процесс обжига в печи;
- измельчение клинкера и производство цемента.

В атмосферу выбрасываются следующие загрязняющие вещества:

- ✓ -пыль – в результате различных видов работ с сыпучими, мелкодисперсными материалами;

- ✓ -продукты сгорания из печи, содержащие оксиды азота и диоксид серы в количествах, зависящих от вида используемого топлива и организации процесса сжигания.

Количество пыли, поступающей в атмосферу Π (кг/т), определяют по формуле:

$$\Pi = 10^{-3} \nu c, \quad (2.6)$$

где ν – объем загрязненного воздуха, м³/кг продукта (табл.2.39);

c – концентрация пыли в потоке загрязненного воздуха, г/м³ (табл. 2.39).

Таблица 2.39 – Усредненные показатели выброса пыли на заводах цементного производства

Цех	Источник выброса	Объем загрязн. воздуха, м ³ /кг продукта	Температура, °С	Концентрация пыли, г/м ³	Источник пыли
Сырьевой цех	Дробилка шнековая	0,07	18	13	известняк
	Дробилка молотковая	0,1	19	20	известняк
	Узлы перегрузки	0,4	25	20	известняк
Отделение обжига	Вращающиеся печи мокрого способа производства	5	200	50	известняк
	Вращающиеся печи сухого способа производства	3	290	40	известняк
Сушильное отделение добавок	Сушильный барабан:				
	шлак	1,7	135	20	шлак
	известняк	0,8	70	40	известняк
Цех помола	глина	2,8	75	5	глина
	Цементные мельницы открытого цикла с центральной разгрузкой	0,46	100	60	цемент
	Цементные мельницы сепараторные	0,92	900	70	цемент
Цех отгрузки цемента	Упаковочные машины	0,66	50	95	цемент

2.7.3 Производство извести

Расчет выброса пыли при производстве извести ведется по формуле (2.6). Усредненные показатели выброса пыли на заводах известкового производства представлены в таблице 2.40.

Удельный выброс пыли на 1 тонну продукции составляет 190,9 кг.

Таблица 2.40 – Усредненные показатели выброса пыли на заводах известкового производства

Источник выброса	Объем загрязненного воздуха, м ³ /кг продукта	Температура, °C	Концентрация пыли, г/м ³	Источник пыли
Дробилка шнековая	0,7	16	15	известняк
Грохот	0,07	18	14	известняк
Узлы перегрузки	0,23	27	15	известняк
Вращающиеся печи мокрого способа производства	6	215	32	известь
Вращающиеся печи сухого способа производства	7,5	320	35	известь
Мельницы помола извести	0,35	80	65	известь
Узлы перегрузки извести	0,5	30	27	известь
Упаковочные машины	0,5	28	13	известь

2.7.4 Производство стекла

Производство стекла включает следующие основные операции:

- *подготовка* сырьевых компонентов и получение шихты. Исходный материал взвешивается, смешивается в соответствующей пропорции и транспортируется. В качестве исходного материала применяют песок, кальцинированную соду, известняк, битое стекло;

- *варка* в стекловаренной печи (1500 -1600°C). Используются печи периодические: горшковые и ванны; и непрерывно действующие ванны печи для варки массовых промышленных стекол (листовое стекло, тарное). В печах топливом служит газ или мазут. Исходный материал, поступающий в печь, флотируется на расплавленном стекле, расплавляется и постепенно подается в отсек формирования;

- *формирование*. Производится при 700-1000°C на стеклоформирующих машинах отливкой в формы, штамповкой, прессовкой, прокаткой, вытягиванием, выдуванием и т.д. Листовое полированное стекло получают следующим способом: расплавленное стекло подается в камеру, содержащую расплавленное олово. Стекло затвердевает на поверхности оловянной ванны и приобретает плоско параллельность верхней и нижней поверхностей листа.

В атмосферу поступают следующие загрязняющие вещества:

- аэрозоли, возникающие при обращении с исходным сырьем в количестве 0,018-0,027 кг/т;
- аэрозоли из стекловаренных печей – 0,45-1,3 кг/т. Средний размер частиц 0,1-0,13 мкм. Объем выбросов зависит от содержания летучих компонентов в исходном сырье;
- диоксид серы, образуется при сгорании серы, содержащейся в топливе и при разложении сульфатов в стеклянной шихте, в основном сульфата натрия;
- диоксид азота, образуется путем термического связывания атмосферного азота в печи;
- фтористые соединения и мышьяк, образуются из минеральных примесей в исходном сырье.

Таблица 2.41 – Усредненные показатели выброса пыли на заводах стекольной промышленности

Источник выброса	Объем загрязненного воздуха, м ³ /кг продукта	Температура, °С	Концентрация пыли, г/м ³	Источник пыли
Регенеративная стекловаренная печь производства облицовочной плитки	1800	400	0,2	материал готовой продукции
Стекловаренная печь прямого нагрева производства коврово-мозаичной плитки	10400	600	0,2	
Печь, производства алюмо-боросиликатного стекла	15100	750	0,06	
Регенеративная печь производства хрусталя	5000	450	0,1	

2.7.5 Производство нерудных строительных материалов

Исходной горной массой при *производстве нерудных строительных материалов* являются граниты, известняки, доломиты, песчаники, мраморы, а также гравий и песок гравийно-песчаных месторождений.

Наиболее интенсивным пылеобразованием сопровождаются процессы дробления, сортировки (грохочения), перегрузки и транспортировки.

В процессе тепловой обработки керамических изделий, загрязняющие вещества выделяются:

- в результате реакций, происходящих между основными компонентами сырья;
- при сжигании топлива в тепловых агрегатах.

Из компонентов сырья выделяются соединения серы, хлора, фтора, водорастворимые соли серной и соляной кислот, оксиды углерода, сернистый и серный ангидрид, фтористый водород.

При сжигании жидкого и газообразного топлива образуется зола, оксиды азота, серы, углерода.

Суммарные удельные выбросы определяются видом продукции.

Таблица 2.42 – Удельные выбросы загрязняющих веществ (г/кг продукции) при керамическом производстве

Продукция	Диоксид серы		Диоксид азота		Оксид углерода	
	г/кг	г/м ³	г/кг	г/м ³	г/кг	г/м ³
Облицовочные плитки	0,72	9,3	2	26	1,98	26
Плитки для полов	0,28	8,6	1,05	32,5	1,2	37,9
Фасадные плитки	0,18	5	1,85	40	1,4	38
Санстройизделия	2,95	-	3,92	-	4,23	-
Канализационные трубы	1,9	-	0,45	-	-	-

2.7.6 Минераловатное производство

Основными источниками загрязнения атмосферы в *минераловатном производстве* являются вагранки и камеры волокноосаждения.

Ваграночные газы содержат: пыль, оксид углерода, диоксид серы, оксиды азота.

Одна вагранка диаметром 1250 мм выбрасывает 3-12 тыс. м³/час газов, которые содержат:

CO – 100 г/м³

NO_x – 0,05 г/м³

SO₂ – 0,2 г/м³

пыль – 0,2 г/м³

В качестве связующих веществ при производстве минераловатных изделий применяются фенолоспирты и битумы. При этом из камеры волокноосаждения выбрасывается в атмосферу от 0,6 до 14,1 кг/час фенола и от 0,2 до 24 кг/час формальдегида.

Из камеры теплообработки – 0,3÷11,6 кг/час фенола и 0,5÷14,8 кг/час формальдегида.

2.7.7 Производство бетона

Бетон производят путем смешивания отмеренных доз песка, цемента, наполнителя и воды.

В атмосферу выбрасывается пыль, образующаяся при погрузке, разгрузке, транспортировке материалов, особенно цемента, т.к. 10-20 % цемента состоит из частиц размером менее 5 мкм.

Основными источниками загрязнения атмосферы при производстве железобетонных изделий являются:

- посты разгрузки железнодорожных вагонов с цементом, песком, щебнем;
- загрузка цемента в емкости пневмотранспортом;
- расходные бункеры;
- бетоносмесители;
- емкости для приготовления и хранения смазочных материалов;
- посты ручной и полуавтоматической сварки изготовления арматуры.

При разгрузке сыпучих материалов из железнодорожных вагонов, количество пыли ***Pr*** (г/с) определяется по формулам:

Цемент ***Pr=0,03 B G;***

Песок ***Pr=0,015 B G;***

Щебень ***Pr=0,058 B G,***

где ***B*** – коэффициент, зависящий от высоты пересыпки материала (табл. 2.33);

G – производительность узла пересыпки, т/час.

Таблица 2.43 – Зависимость коэффициента В от высоты пересыпки

Высота пересыпки, м	0,5	1	1,5	2	4	6	8	10
В	0,4	0,5	0,6	0,7	1,0	1,5	2,5	2,5

Количество пыли $\Pi_{ц}$ (кг/ч), выделяющейся при перекачивании цемента пневмотранспортом определяется по формуле:

$$\Pi_{ц}=10^{-3} V_{г} C,$$

где $V_{г}$ – средний выход загрязненного газа, м³/ч;

C – средняя концентрация цемента в потоке загрязненного газа, г/м³.

Количество пыли $\Pi_{с}$ (г/с), выделяющейся при складировании инертных материалов рассчитывается по формулам:

$$\text{Для щебня} - \Pi_{с}=0,018 (3,2G + F);$$

$$\text{Для песка} - \Pi_{с}=0,015 G,$$

где G – производительность узла пересыпки, т/час;

F – площадь складирования материала, м².

Для ориентировочной оценки выделения пыли для основных технологических переделов при производстве железобетонных изделий можно воспользоваться усредненными показателями (табл. 2.44).

Таблица 2.44 – Усредненные показатели выделения пыли для основных технологических переделов при производстве железобетонных изделий

Источник выделения вещества	Вещество	Концентрация пыли в газах, г/м ³	Удельное пылевыведение, г/т
Посты выгрузки вагонов	Цементная пыль	8,2	0,08
	Щебень		0,11
	Песок		0,03
Пневмотранспорт, склады, хранилища	Цементная пыль	8,2	0,8
Дозаторы, бетоносмесители	Цементная пыль, пыль инертных газов	3,2	1,33

2.7.8 Производство керамзита

Основными источниками выделения пыли при производстве керамзита (коричневые пористые шарики) являются печи обжига керамзита, сушильные камеры и посты загрузки транспортных средств (табл. 2.45).

Таблица 2.45 – Усредненные показатели выделения загрязняющих веществ при производстве керамзита

Источник выделения вещества	Загрязняющее вещество и используемое топливо	Концентрация вещества в газе, г/м ³	Удельное пыле-выделение, кг/м ³ керамзита
Печь обжига керамзита	Керамзитовая пыль (газ, мазут)	2,2	7,3
	Оксиды азота:		
	-газ	0,13	0,5
	-мазут	0,02	0,1
	Оксид углерода:		
	-газ	0,08	0,4
	-мазут	0,14	0,38
Пост погрузки керамзита	Диоксид серы:		
	-мазут	0,07	0,16
	Керамзитовая пыль	-	0,7

2.7.9 Производство асфальтобетона

Асфальтобетонное дорожное покрытие состоит из:

- *битума (связующее)* – продукта перегонки нефти, жидкого при температуре 120-180 °С и твердого при более низких температурах;
- *наполнителя* (щебня, гравия, песка, шлака).

Технология производства включает следующие этапы:

- ✓ добыча, транспортировка наполнителя;
- ✓ сушка наполнителя;
- ✓ сортировка наполнителя по размерам и дозировка;
- ✓ перемешивание с битумом, подаваемым из нагретых баков.

В качестве топлива при производстве асфальтобетона используется газ, мазут, дизтопливо.

В атмосферу выбрасываются следующие загрязняющие вещества:

- *пыль*, выбрасываемая при погрузке, разгрузке, складирование сыпучих материалов, пыль из сушильных барабанов. Объем выбросов пыли и дисперсный состав зависят от вида наполнителя, составляет около 20кг/т, 50% частиц имеют размер более 50 мкм;

- *продукты сгорания топлива.* Ориентировочно суммарные выбросы оксида углерода и оксидов азота достигают 0,045 кг/т, альдегидов – 0,01 кг/т;
- *пахучие смолистые вещества* с мест хранения и смешивания асфальта.

Выбросы (*П*) при погрузке, разгрузке и складировании можно ориентировочно оценить по формуле:

$$P = 0,01 P m$$

где *P* – убыль материалов, % (табл. 2.36);

m – масса материала.

Таблица 2.46 – Убыль материалов *P* при хранении, погрузке и разгрузке

Материал	Вид хранения	Хранение	Погрузка	Разгрузка
		P, %		
Щебень	Открытый склад в штабелях	0,5	0,4	0,4
	Механизированное складирование	1,0	0,4	0,5
Цемент	Склад бункерного типа	0,1	0,25	0,25
	Открытый склад	1,2	0,5	0,6
Холодный асфальт	Открытый склад	0,7	0,25	0,25
Битум	Ямные хранилища	0,5	0,1	0,2
	Наземные резервуары	0,5	0,1	0,1

Проведение строительных работ сопровождается сильным пылением в результате:

- ветровой эрозии разрыхленной земли;
- движения транспорта по дорогам без покрытий;
- погрузки-разгрузки сыпучих материалов.

2.8 Добыча минерального сырья

Минеральное сырье добывается в шахтах (рудниках) или открытых разработках.

Источниками загрязнения атмосферы являются терриконы, отвалы, открытые разрезы, участки погрузки, разгрузки и транспортировки сыпучих материалов. В результате их ветровой эрозии имеют место выбросы в атмосферу.

Угольные терриконы и отвалы выделяют в атмосферы газы, содержащие: CO, CO₂, SO₂, H₂S, NO_x.

При проведении взрывных работ образуется пылегазовое облако, содержащее пыль измельченной породы, CO, NO_x.

2.8.1 Выбросы загрязняющих веществ предприятиями угольной промышленности

Расчет выбросов загрязняющих веществ предприятиями угольной промышленности осуществляется следующим образом:

- 1 Расчет количества газов Π (т/сут), выделяющихся из действующих горящих терриконов и хребтовых отвалов производится по формуле:

$$\Pi = 0,001 m H D,$$

где m – коэффициент, зависящий от качества угля (табл. 2.47);

H – высота отвала, м;

D – количество породы, выдаваемой в отвал, т/сут.

Таблица 2.47 – Коэффициент m , зависящий от качества угля

Загрязняющее вещество	Донецкий бассейн	Львовско-Волынский бассейн
CO	0,2	2
CO ₂	2,5	9,3
SO ₂	0,02	0,5
H ₂ S	0,01	0,03
NO _x	0,002	0,006

- 2 Расчет количества газов $\Pi_{пл}$ (т/сут) от горящих плоских отвалов производится по формуле:

$$\Pi_{пл} = 0,001 q (0,036S - 0,052H \sqrt{S}),$$

где q – удельное газовыделение, кг/м² сут;

S – площадь основания плоского отвала, м²;

H – средняя высота отвала, м.

Для угля Донецкого бассейна значения q составляют:

$$\begin{array}{lll} q_{CO} - 7,6 & q_{H_2S} - 0,5 & q_{SO_2} - 1,7 \\ q_{CO_2} - 138 & q_{NO_x} - 0,12 & \end{array}$$

- 3 Расчет количества газов Π_n (т/сут) из недействующих (после прекращения эксплуатации) отвалов (не действующих менее 3-х лет) производится по формуле:

$$\Pi_n = f \Pi,$$

где f – коэффициент, зависящий от времени, в течении которого отвал не действует:

через 1 год $f=0,5$;

через 2 года $f=0,3$;

через 3 года $f=0,1$.

(Затем выделения отвала становятся незначительными).

Π – количество загрязняющих газов, выделяющихся из отвалов во время эксплуатации, т/сут.

- 4 Расчет количества пыли Π_1 (т/сут) из действующих терриконов и хребтовых отвалов производится по формуле:

$$\Pi_1 = 0,001 \kappa H D,$$

где κ – коэффициент, зависящий от высоты отсыпки и количества породы $\kappa \approx 0,01$;

D – количество породы, выдаваемой в отвал, т/сут.

- 5 Расчет количества пыли Π_2 (т/сут) из недействующих отвалов производится по формуле:

$$\Pi_2 = 2 \cdot 10^{-5} S,$$

где S – поверхность отвала, m^2 .

- 6 Расчет количества пыли Π_4 (кг/с) с открытых площадей (отвалов, уступов) в угольных разрезах производится по формуле:

$$\Pi_4 = S W_c \gamma,$$

где S – открытая площадь, m^2 ;

W_c – удельная сдуваемость пыли с учетом скорости ветра на дне разреза и на поверхности отвала, $кг/м^2 \cdot с$:

для угольной пыли $W_c = 1 \cdot 10^{-6} \text{ кг/м}^2 \cdot с$;

для пыли породы (на отвале) $W_c = 0,1 \cdot 10^{-6} \text{ кг/м}^2 \cdot с$;

γ – коэффициент измельчения горной массы, $\gamma \approx 0,1$

7 Расчет количества пыли Π_6 (кг/с с 1 м длины) с ленточного конвейера производится по формуле:

$$\Pi_6 = W_c L \gamma,$$

где W_c – удельная сдуваемость пыли, $\omega_c \approx 3 \cdot 10^{-5}$ кг/м² с;

L – ширина конвейерной ленты, м;

γ – коэффициент измельчения горной массы (для роторных экскаваторов $\gamma \approx 0,1$).

8 Расчет параметров пылегазового облака при взрывных работах

При взрывных работах в атмосферу выбрасывается пыль, СО, NO_x. Над местом взрыва образуется пылегазовое облако, характеризующееся объемом, высотой подъема, температурой, концентрацией загрязняющего вещества.

Объем пылегазового облака V_0 , м³:

$$V_0 = 44000 A^{1,08},$$

где A – количество взорванного взрывчатого вещества, т.

Высота пылегазового облака, H_0 , м:

$$H_0 = b (164 + 0,258 A),$$

где b – безразмерный коэффициент, зависящий от глубины скважины: при глубине до 15 м – $b=1$, более 15 м – $b=0,8$.

Температура газа в облаке T_0 , °С:

$$T_0 = T_{\text{в}} + \Delta T,$$

где $T_{\text{в}}$ – температура окружающего воздуха;

ΔT – перегрев газового облака относительно окружающего воздуха.

Таблица 2.48 – Значения ΔT в зависимости от количества взорванного взрывчатого вещества A

A , т	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
ΔT , °С	0,4	0,6	0,97	1,4	1,79	2,24	2,82	3,44	4,09	4,8

Концентрация загрязняющего вещества в пылегазовом облаке C , мг/м³
(при использовании одного вида взрывчатого вещества):

$$C = \frac{10^9 q A}{V_0} \left(1 - \frac{\eta}{100} \right),$$

где q – удельное выделение загрязняющего вещества при взрыве 1т взрывчатого вещества (ВВ), т/т (табл. 2.49);

η – эффективность применяемых при взрыве средств пылегазоподавления, %.

Для определения q предварительно рассчитывается удельный расход ВВ на 1 м³ взорванной горной массы Δ :

$$\Delta = 1000 A / V_{зм},$$

где $V_{зм}$ – объем взорванной горной массы, м³.

Для оксидов азота $q = 0,0025$ т/т. Значения η при гидрозабойке скважин составляют для пыли – 60%, для газов – 85% от указанных в таблице 2.49.

Количество загрязняющего вещества P_0 , т выбрасываемого с пылегазовым облаком за пределы разреза:

$$P_0 = 10^{-9} k q V_0,$$

где k – коэффициент, учитывающий гравитационное осаждение загрязняющего вещества в пределах разреза:

для пыли $k=0,16$;
для газов $k=1,0$.

Таблица 2.49 – Удельное выделение пыли/оксида углерода q

Δ , кг/м ³	q , т/т		
	Взрывчатое вещество		
	граммонит 79/21, аммонит №6ЖВ	инданит, гранулит М	граммонит 30/70-В
0,05	0,148/0,104	0,151/0,009	0,155/0,04
0,1	0,088/0,076	0,092/0,07	0,096/0,037
0,2	0,061/0,04	0,067/0,005	0,073/0,032
0,4	0,06/0,012	0,072/0,002	0,085/0,023
0,6	0,079/0,003	0,102/0,001	0,133/0,017
0,8	0,116/0,001	0,164/0,001	0,233/0,012
1,0	0,182/0,001	0,282/0,001	0,436/0,009

2.9 Переработка нефти и хранение нефтепродуктов

Крекинг – переработка нефти и ее фракций для получения моторных топлив, а также химического сырья, протекающая с распадом тяжелых молекул.

Различают следующие основные виды крекинга:

- *термический* - под воздействием высокой температуры (470-750°C, $P=0\div 60$ ати, проводят в трубчатых печах или реакторах);

- *каталитический* – при одновременном воздействии высокой температуры и катализаторов (450-520°C, $P=2\div 3$ ати, проводят в реакционных колоннах с неподвижным или циркулирующим катализатором);

- *каталитический гидрокрекинг* – каталитический крекинг в присутствии водорода (350-450°C, $P=30\div 140$ ати).

Основные процессы, являющиеся источником загрязнения атмосферы:

1. При каталитическом крекинге выделяются: диоксиды серы, оксиды азота, аэрозоли, углеводороды, аммиак. Выбросы происходят из регенератора и дожигателя СО.
2. При каталитическом крекинге в короткие промежутки времени могут выделяться СО, аммиак, сероводород, за счет регенерации катализатора.
3. Из систем обогрева аппаратов – аэрозоли, диоксид серы, СО, углеводороды, альдегиды, диоксиды азота. Объем выбросов зависит от типа топлива (нефть, газ или мазут) и от типа горелок.
4. При сжигании в факеле – СО, диоксид серы, оксиды азота.

При складировании и хранении: все резервуары с жидкостью, содержащей легкие углеводороды, включая сырую нефть, являются потенциальными источниками утечки углеводородов в атмосферу. При изменении атмосферного давления резервуар «дышит», выбросы происходят при наполнении и опорожнении, через уплотнение крышки.

Количество выбросов в атмосферу загрязняющих веществ Π_p , (кг/ч) из резервуаров с однокомпонентными жидкостями за счет испарения рассчитывается по формуле:

$$\Pi_p = 4,46 V_{ж}^p P_{S(38)} M_n (K_{5x} + K_{5T}) K_6 K_7 (1-\eta) 10^{-9},$$

где $V_{ж}^p$ – объем жидкости, заливаемой в резервуар в течении года, м³/год;
 $P_{S(38)}$ – давление насыщенных паров жидкости при температура 38°C, гПа;
 M_n – молекулярная масса паров жидкости, г/моль;

K_{5X} , K_{5T} – поправочные коэффициенты (см. табл.2.40), зависящие от давления насыщенных паров $P_{S(38)}$ и температуре газового пространства t^p_g соответственно в холодное и теплое время года;

K_6 – коэффициент, зависящий от давления насыщенных паров и годовой оборачиваемости резервуаров;

K_7 – коэффициент, зависящий от технической оснащенности и режима эксплуатации;

η – степень очистки газоулавливающего устройства резервуара (в долях единицы).

Значение $P_{S(38)}$ определяется для нефти и нефтепродуктов по таблице 2.50 в зависимости от эквивалентной температуры начала кипения $t_{эКВ}$, °C, которая рассчитывается по формуле:

$$t_{эКВ} = t_{НК} + (t_{КК} - t_{НК})/8,8 ,$$

где $t_{НК}$, $t_{КК}$ – соответственно температуры начала и конца кипения многокомпонентной жидкости, °C.

Таблица 2.50 – Значения $P_{S(38)}$ в зависимости от $t_{эКВ}$

$t_{эКВ}$, °C	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
$P_{S(38)}$	1808	1310	944	673	476	332	231	158	106	72	48
$t_{эКВ}$, °C	130	140	150	160	170	180	190	200	250	300	400
$P_{S(38)}$	32	21	13	8,5	5,3	3,3	1,9	1,3	0,09	$4 \cdot 10^{-3}$	$3,35 \cdot 10^{-6}$

Значение молярной массы паров нефтепродуктов M_n , определяется в зависимости от температуры начала кипения $t_{НК}$ (табл. 2.51).

Таблица 2.51 – Молярная масса паров M_n , г/моль

$t_{НК}$	30	40	50	60	70	80	90	100	120	140	160
M_n	63	69	75	81	87	93	98	102,5	112	122	133,5
$t_{НК}$	180	200	220	240	260	280	300	350	400	450	500
M_n	146	159	172,5	187,5	203,5	220	237,5	289,5	350	422	510

Температуру газового пространства t^p_g , необходимую для нахождения K_{5X} , K_{5T} определяют по средним значениям температур в соответствующих емкостях за шесть наиболее холодных и шесть наиболее теплых месяцев года.

Для наземных металлических не обогреваемых и подземных железобетонных резервуаров температура за 6 наиболее холодных месяцев t_{zx}^p и за 6 наиболее теплых месяцев t_{zm}^p определяются соответственно по формулам:

$$t_{zx}^p = K_{1x} + K_{2x} t_{ax} + K_{3x} t_{жх}^p,$$

$$t_{zm}^p = K_4 (K_{1m} + K_{2m} t_{am} + K_{3m} t_{жм}^p),$$

где t_{ax} , t_{am} – среднее арифметическое значение температуры атмосферного воздуха, соответственно за шесть наиболее холодных и шесть наиболее теплых месяцев года, °С;

K_{1x} , K_{2x} , K_{3x} , K_{1m} , K_{2m} , K_{3m} – коэффициенты за шесть наиболее холодных и шесть наиболее теплых месяцев года (табл. 2.52).

Таблица 2.52 – Значения коэффициентов K_1 , K_2 , K_3 в зависимости от температуры жидкости в резервуаре

Период	Температура в резервуаре, °С	K_1	K_2	K_3
Наземные резервуары				
Шесть наиболее холодных месяцев (зима)	меньше 20	0,3	0,37	0,62
	20-35	-1	0,33	0,63
	35-60	-5,77	0,26	0,77
	больше 60	-10,8	0,65	0,89
Шесть наиболее теплых месяцев (лето)	меньше 35	6,12	0,41	0,51
	35-50	4,33	0,37	0,59
	50-75	-2,04	0,57	0,62
	больше 75	-8,41	0,99	0,75
Подземные железобетонные резервуары				
Шесть наиболее холодных месяцев (зима)	меньше 25	1,62	0,19	0,74
	25-40	1,6	0,15	0,72
	40-60	1,6	0,1	0,7
	больше 60	4,2	0,06	0,68
Шесть наиболее теплых месяцев (лето)	меньше 35	6,1	0,17	0,36
	35-50	0,3	0,15	0,75
	50-75	0,4	0,05	0,83
	больше 75	8,95	0,07	0,65

$K_4=1$ для подземных резервуаров.

Для наземных резервуаров:

- -окраска черная $K_4=1,22$;
- -алюминиевая $K_4=1,0$;
- -теплоотражающая эмаль $K_4=0,81$;

$t_{жх}^p, t_{жт}^p$ – средние температуры нефтепродуктов в резервуарах в 6 теплых и 6 холодных месяцев.

Таблица 2.53 – Значение коэффициента K_5

$t_r, ^\circ\text{C}$	$P_{S(38)}, \text{гПа}$							
	667	533	401	267	142	70,5	16	1,96
-20	0,072	0,066	0,061	0,051	0,039	0,032	0,015	0,006
-15	0,094	0,088	0,081	0,07	0,054	0,047	0,024	0,012
-10	0,122	0,115	0,107	0,093	0,075	0,067	0,036	0,019
-5	0,156	0,148	0,139	0,124	0,103	0,093	0,066	0,03
0	0,197	0,188	0,179	0,161	0,138	0,125	0,08	0,045
5	0,247	0,237	0,228	0,209	0,183	0,17	0,116	0,272
10	0,306	0,297	0,287	0,266	0,239	0,225	0,163	0,109
15	0,377	0,366	0,357	0,337	0,308	0,295	0,227	0,165
20	0,459	0,45	0,441	0,421	0,394	0,381	0,311	0,245
25	0,555	0,547	0,539	0,522	0,498	0,487	0,422	0,356
30	0,665	0,66	0,654	0,642	0,624	0,615	0,564	0,510

Таблица 2.54 – Значение коэффициента K_6 (для средней климатической зоны)

Годовая оборачиваемость резервуара	$P_{S(38)}, \text{гПа}$					
	<67	67-133	133-266	266-399	399-532	>532
<12	1,26	1,4	1,95	2,5	3,32	34,01
24-27	1,24	1,35	1,8	2,26	2,73	2,33
32-35	1,22	1,31	1,66	2,01	2,22	2,68
40-43	1,2	1,27	1,51	1,74	1,92	2,32
48-51	1,18	1,23	1,4	1,56	1,72	2,08
56-59	1,16	1,2	1,31	1,41	1,54	1,86
64-67	1,14	1,17	1,25	1,34	1,43	1,73
72-75	1,12	1,15	1,23	1,27	1,35	1,64
80-105	1,1	1,13	1,18	1,23	1,3	1,57
132-200	1,08	1,11	1,15	1,19	1,26	1,53
>200	1,07	1,1	1,13	1,17	1,2	1,45

Таблица 2.55 – Значение коэффициента К7 (связан с оборудованием резервуара)

Оснащение резервуара техническими средствами сокращения потерь	К ₇
1. Происходит изменения уровня жидкости	
а) резервуар не оборудован плавающей крышей, имеет открытый люк или снятый дыхательный клапан	1,1
б) резервуар оборудован дыхательным клапаном, поддерживающим избыточное давление, гПа	
<19,6	1
19,6-98	0,95
98-147	0,91
147-196	0,87
196-245	0,87
в) резервуар оборудован понтоном	0,2
г) резервуар оборудован плавающей крышей	0,15
2. Уровень жидкости постоянный	
а) резервуар не оборудован плавающей крышей, имеет открытый люк или снятый дыхательный клапан	0,3
б) резервуар оборудован дыхательным клапаном, поддерживающим избыточное давление, гПа	0,2
в) резервуар оборудован понтоном	0,15
г) резервуар оборудован плавающей крышей	0,1

2.10 Химическая промышленность, производство минеральных удобрений

Химическая промышленность включает виды производств, где необработанные исходные материалы минерального или нефтяного происхождения соединяются посредством химических реакций в полупродукты или конечные продукты.

Сложность химических производств заключается в том, что на них в конечном итоге производится более чем 70000 видов продукции. Вместе с побочными продуктами на химических предприятиях используется 500-600 тыс. синтетических соединений.

Часто сырьем для получения химического продукта являются отходы других видов производств.

Из-за своего разнообразия химпром является самым сложным объектом для утилизации выбросов.

Основные выбросы химических предприятий:

аэрозоли, оксиды серы, оксиды азота, углеводороды, оксид углерода.

Большинство выбросов аэрозолей в химической промышленности образуется в процессах дробления, размола, погрузки, упаковки, транспортировки, при производстве извести, гипса, глинозема, фосфоритной руды.

Производство серной кислоты – основной источник выбросов оксидов серы.

Производство аммиака – оксидов азота.

Производство пластмасс – углеводородов.

Газовой сажи – оксида углерода.

Химические удобрения – это химические соединения, содержащие одно или несколько главных питательных веществ для растений – азот, фосфор, калий. Существует много способов производства соединений, содержащих каждое из этих веществ. Примерами широко используемых удобрений являются мочевины, содержащая азот, гранулированный суперфосфат, содержащий фосфор, хлористый калий.

Главными загрязняющими атмосферу веществами при производстве удобрений являются аэрозоли. Основные источники выброса аэрозолей – дробление и сортировка материалов, грануляция, сушка и охлаждение удобрений, получаемых в реакторе, их расфасовка.

Некоторые производственные циклы выбрасывают газообразные загрязнители, такие как аммиак, фториды, формальдегид.

Мочевина – самое распространенное азотное удобрение. Процесс производства заключается в получении раствора карбамида путем реакции аммиака с диоксидом углерода с последующим его обезвоживанием по реакции:



Раствор в дальнейшем может подвергаться сушке путем выпаривания или кристаллизации.

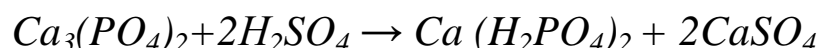
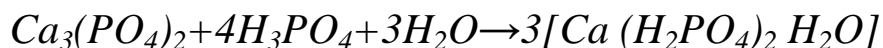
Выбросы при производстве мочевины содержат следующие загрязняющие вещества:

-твердые частицы – до 150 кг/т;

-аммиак – до 14 кг/т;

-формальдегид – до 10 кг/т.

Суперфосфат – получают путем обработки фосфоритной руды ортофосфорной кислотой в результате следующих химических реакций.



Главное, загрязняющее атмосферу вещество в производстве суперфосфата – фтористые соединения в газообразном состоянии и в виде аэрозолей. Газообразные фториды могут выделяться и из готовой продукции в течении 3-5 дней после производства. Соответственно здание склада является источником выбросов фторидов.

Выбросы фторидов составляют:

- -в процессе производства – до 100 г/т P_2O_5 ;
- -при хранении – до 0,25 г/ч на 1 т P_2O_5 .

Хлористый калий получают в процессе отделения хлористого калия от хлорида натрия и глины. Сырье дробят, а затем расщепляют путем флотации или кристаллизации.

Выбросы в атмосферу происходят во время дробления, просеивания, транспортировки, сушки, прессования, хранения, погрузки.

2.11 Производство бумаги

Процесс производства бумаги протекает в 2 стадии:

- превращение древесины в пульпу;
- производство бумаги.

Древесная пульпа готовится механически или химически.

Механическое приготовление – расщепление и измельчение древесины с целью высвобождения волокон. Этот процесс практически не сопровождается загрязнением атмосферы. Исключение составляют котельные, необходимые для внутризаводского производства энергии.

Древесина содержит целлюлозу и лигнин.

При химическом приготовлении пульпы древесные волокна высвобождаются в результате растворения связывающего вещества – лигнина.

Основной наиболее часто используемый химический метод – **крафт–процесс**.

Чтобы получить целлюлозу, пригодную для производства бумаги, необходим химический процесс для удаления лигнина. Для этого древесные щепки выпаривают в сульфатной варочной жидкости (водный раствор сульфида натрия и гидроксида натрия) – так называемая «белая жидкость». Затем проводят несколько промежуточных стадий промывания пульпы водой. Отработанная варочная жидкость и вода после промывания пульпы смешиваются вместе, образуя слабую «черную жидкость», которая концентрируется многоступенчатой выпаркой. Концентрированная черная жидкость подается в топку.

Процесс производства целлюлозы сопровождается выделением сероводорода, метилмеркаптана, диметилсульфида, диметилсульфата, оксида серы (табл. 2.56).

Таблица 2.56 – Удельные выбросы загрязняющих веществ при производстве сульфатной целлюлозы

Процесс	Выбросы, г/т целлюлозы				
	H ₂ S	диметил меркаптан	диметил сульфид	диметил сульфат	SO ₂
Варка целлюлозы	4,7	443,7	300,4	120	-
Разгрузка варочных котлов без очистки и охлаждение паров вскипания	-	-	-	-	36000
Промывка целлюлозы в вакуумпромывной установки	-	-	-	-	600

2.12 Сжигание, свалки бытовых отходов

На каждого жителя большого города приходится 1 м³ мусора в год. Состав мусора: пищевые отходы, бумага, металл, стекло, полимерные материалы.

Источниками загрязнения воздушного бассейна служат:

- -мусорные свалки;
- -мусоросжигательные заводы, где мусор сжигают в специальных котельных установках с утилизацией тепла.

С продуктами сгорания в атмосферу попадают:

- ✓ пыль, в количестве 150-250 мг/м³;
- ✓ диоксид серы – 200-1000 мг/м³;
- ✓ СО до 0,3 %;
- ✓ альдегиды и органические кислоты 0,3-1,5 %;
- ✓ канцерогенные вещества – 6,5-7 мг/т мусора;
- ✓ HF и диоксины (следы).

2.13 Пищевая промышленность

Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу предприятиями пищевой промышленности существенно меньше, чем в других видах производств. Их опасность заключается в том, что они сосредоточены, как правило, в жилых районах городов. Выделяют два основных вида процессов:

- ✓ обработка сухих сыпучих продуктов (зерно, соль, крупа, крахмал);
- ✓ процессы термической обработки продуктов (копчение, варка).

Выделение аэрозолей при переработке сухих продуктов находится в следующих пределах (на тонну готовой продукции):

- производство крахмала – около 3,65 кг/т;
- мельницы для соевых бобов – до 2,2 кг/т;
- переработка зерна на пиво и водку – 1,4 кг/т.

Поскольку пылевые частицы образуются в основном за счет дробления, их размеры относительно крупные и находятся в пределах от 2 до 500 мкм.

Дымы и выбросы частиц, образуемых в процессе термической обработки, содержат частицы субмикронного размера – от 0,05 до 5 мкм и сопровождаются выделением газов.

2.14 Проведение сельскохозяйственных работ

Площадь под посевами на планете (2009 год) занимает 1,53 млрд. га, что составляет 10-12 % всей суши. Интенсивно для проведения сельскохозяйственных работ используют земли пригородной зоны крупных городов и урбанизированных территорий.

Пыление при проведении сельскохозяйственных работ оказывает большое влияние на состояние воздуха.

Основные источники пыления:

- процесс обработки почвы (вспашка, культивация);
- ветровая эрозия распаханной почвы;
- пыление при движении транспортных средств по пашне и грунтовым дорогам.

Источником загрязнения воздушного бассейна являются места содержания домашних животных. При этом в воздух выбрасываются: взвешенные вещества, аммиак. Взвешенные вещества состоят из частиц корма, помета и эпителия животных.

Аммиак выделяется в результате распада при анаэробных условиях органических азотистых соединений, содержащихся в помете.

2.15 Полиграфическое производство

В различных технологических процессах полиграфических производств имеют место выбросы в атмосферу следующих загрязняющих веществ:

- | | |
|----------------------|----------------------------------|
| • аэрозоли свинца; | • оксиды азота; |
| • пары бензина; | • полистирол; |
| • хлористый водород; | • сажа; |
| • хлористый винил; | • аэрозоли NaOH и KOH; |
| • озон; | • пары соляной и серной кислоты. |

Количество выбросов загрязняющих веществ зависит от вида используемого оборудования и технологического процесса.

2.16 Химическая чистка одежды

На предприятиях химической чистки одежды широко применяются растворители, усилители химчистки, стиральные порошки и пасты. В процессе применения этих веществ образуются загрязняющие вещества в виде органических растворителей, поверхностно-активных веществ.

Для химической чистки одежды применяются в основном хлористые жирорастворители: перхлорэтилен, тетрахлорэтилен, трихлорэтилен и другие.

Количество выбросов загрязняющих веществ ориентировочно можно считать равным количеству выбросов паров растворителей (табл. 2.57).

Таблица 2.57 – Количество выбросов загрязняющих веществ, г/ч

Суммарная мощность химчистки, кг/смену	Ацетон	Циклогексан	Изопропиловый спирт	Бензин	Трихлорэтилен или перхлорэтилен
350	108	10	32	43	2480
600	170	17	53	68	4200
1000	290	29	87	116	7000

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Экология города / Под ред. Стольберга Ф. В. – К.: Либра, 2000.– 464 с.
2. Сборник методик по расчету выбросов в атмосферу загрязняющих веществ различными производствами. Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 184с.
3. Тищенко Н.Ф. Охрана атмосферного воздуха. Расчет содержания вредных веществ и их распределение в воздухе. Справ. изд.- М.: Химия, 1991. – 368 с.
4. Викиди забруднюючих речовин в атмосферу від енергетичних установок. Методика визначення. Київ. 2002. – 43 с.
5. Методика розрахунку викидів забруднюючих речовин від автомобільного транспорту. Київ. 2000. – 14 с.

Навчальне видання

БЕКЕТОВ Володимир Єгорович
ЄВТУХОВА Галина Петрівна
КОВАЛЕНКО Юрій Леонідович

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ
з дисципліни

ПРИКЛАДНА АЕРОЕКОЛОГІЯ

МОДУЛЬ 3
ОСНОВИ УТВОРЕННЯ І ПРОЦЕСИ ФОРМУВАННЯ
ВИКИДІВ В АТМОСФЕРНЕ ПОВІТРЯ

*(для студентів 3-го курсу денної та 4-го курсу заочної форм навчання
напрямку підготовки 6.040106 – Екологія, охорона навколишнього середовища
та збалансоване природокористування)*

(рос. мовою)

Відповідальний за випуск *Ф. В. Стольберг*

За авторською редакцією

Комп'ютерне верстання *І. В. Волосожарова*

План 2012, поз. 33Л

Підп. до друку 06.04.2015 р.	Формат 60 x 84/16
Друк на різнографі	Ум. друк. арк. 4,5
Зам. №	Тираж 50 пр.

Видавець і виготовлювач:
Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Революції, 12, Харків, 61002
Електронна адреса: rectorat@kname.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 4705 від 28.03.2014 р.